

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 物理科

佳作

030117

樂活綠能避震器--威爾斯渦輪在液壓避震效能的
探討與應用

學校名稱：臺北市立天母國民中學

作者： 國三 楊閔翔 國二 簡伊晨 國二 陳律臻	指導老師： 王禮章 羅文杰
---	-----------------------------

關鍵詞：避震發電、威爾斯渦輪、發電機

摘要

在為單車找尋環保能源，我們從事回收避震動能的研究：利用簡易材料設計組裝，將避震作用時液壓往復流動所產生的動能，推動威爾斯渦輪發電，便成為複筒式液壓避震發電器。

1. 控制適宜的扇葉盤外徑、葉片數量、翼面阻推點、葉片厚度、通氣比等，可以有效提高渦輪運轉效率
2. 調整發電負載所產生的阻尼強度，可提供不同程度避震強度的需求
3. 複筒式的雙向水流，可有效提高轉動的連續性

實測發現：發電負載與避震強度的相互作用，可將避震時消耗掉的動能轉化為有用的電能儲存，過程中還能達到舒適騎乘與環保無碳的目標。小兵立大功，解決能源問題，更帶來舒適與安全！

壹、研究動機

在參觀 52 屆科展博覽會時，看見一件利用威爾斯渦輪來進行潮汐發電的模型，發現風不管前後反覆轉向的吹，扇葉旋轉方向依舊不受影響，真是神奇！回去後上網查資料，想了解它的原理，發現在各國也有許多威爾斯渦輪的應用，例如：海邊的海浪發電、風車發電、海流發電……等。此時突然想到去年花了很長時間，在幫腳踏車找尋環保的動能，一般的剎車發電，主要是利用壓電元件或通過感應線圈行程的間接方式，動能大部分被避震器本身吸收，要是能利用液壓避震器中反覆回流的液體，直接讓渦輪轉動發電。這樣一來，在提供舒適安全的避震同時，又可回收動能發電，可說是一舉數得的實用設計！

貳、研究目的

- 一、探討影響威爾斯渦輪運轉的因素
- 二、歸納轉動變項間的交互作用，來提昇渦輪運轉效能
- 三、利用威爾斯渦輪回收液壓回流動力，設計避震發電系統
- 四、提昇避震發電系統的避震與發電效率

參、研究設備及器材

- 一、威爾斯渦輪實驗組：
 - (一)渦輪測試槽、(二)水流整流器、(三)水流循環系統、(四)實驗水槽
- 二、複筒式液壓避震實驗組：
 - (一)複筒避震管、(二)避震底座、(三)避震彈簧組、(四)動力連桿組、(五)電路控制組
- 三、實驗物件：
 - (一)威爾斯渦輪扇葉(25 組)、(二)水中最佳化威爾斯渦輪扇葉(4 組)
- 四、實驗儀器：
 - (一)音效卡轉速計、(二)分析軟體：錄音 GoldWave 5.06、影像分析 Tracker 4.84
 - (三)紀錄平台：平板電腦

五、實驗器材規格照片

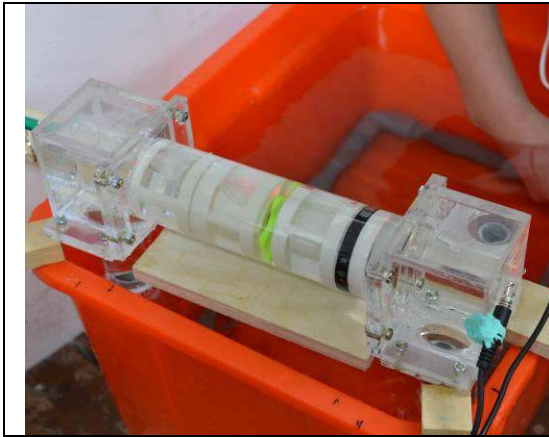


圖 1 威爾斯渦輪實驗組(單向水流)

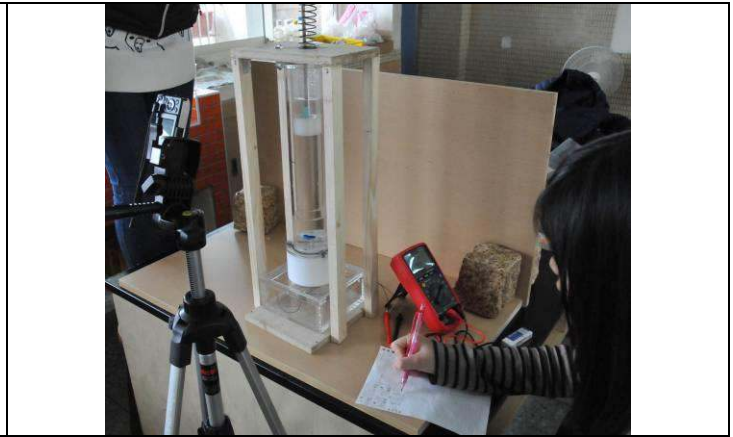


圖 2 複筒式液壓避震實驗組(雙向水流)

肆、研究過程與方法

探索一：設計威爾斯渦輪實驗機組

- 一、 文獻分析：參考 52 屆科展作品「轉轉波能」，利用厚紙板疊出威爾斯渦輪，發現通氣量與扇葉型式間的關係，由於是以氣體測試，不適用在水中，無法測試出水中威爾斯渦輪的最佳規格，幸好利用 3D 印表機印出渦輪扇葉試試在水中轉動的效果



圖 3 列印的渦輪扇葉

二、變項控制：

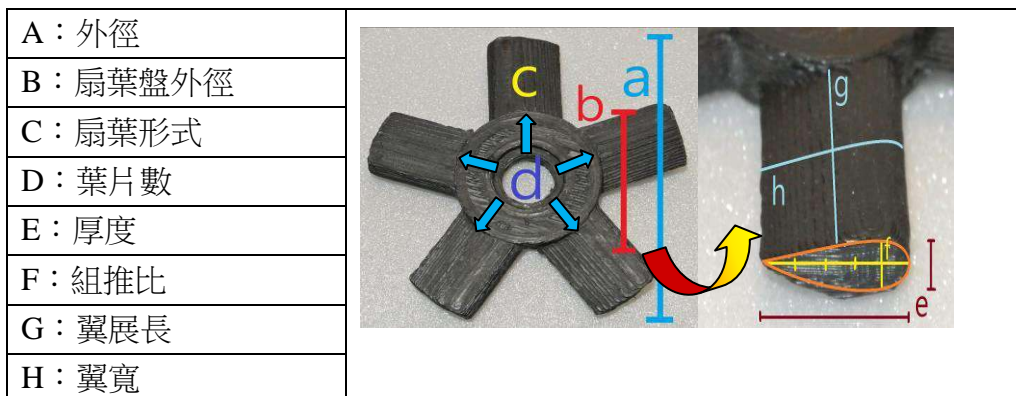


圖 4 渦輪扇葉的各項部位

(一)變項分析與資料收集列表：

表 1 渦輪扇葉各變項數據

操縱變項		變項控制							
編號	變項 內容定義	操縱變項內容							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	扇葉盤外徑 (cm)		1.5	2	2.5	3	3.5		
	翼展長 (cm)		1.75	1.5	1.25	1	0.75		
	通氣比		55.8	53	50	46.3	42.2		
2	扇葉盤外徑 (cm)		1.5	2	2.5	3	3.5		
	通氣比 (%)		51	50	50	49.8	50		
	翼寬 (cm)		1.03	1.1	1.18	1.26	1.33		
3	葉片數	2	3	4	5	6			
	通氣比 (%)	80	70	60	50	40			
4	阻推點			1/10	2/10	3/10	4/10	5/10	
5	翼厚 (cm)				0.35	0.71	1.06	1.42	1.77
6	通氣比		30	40	50	60	70		
	翼寬 (cm)		1.65	1.41	1.18	0.94	0.71		

Ps:1.操縱變項中扇葉盤外徑改變，連帶也會改變翼展，與最後的通氣比

2.為能在水中順利運轉，將液體最佳厚度 0.24cm 增加 50% 為 0.35cm

3. 通氣比 = $\frac{\text{外徑面積} - \text{內徑面積} - \text{葉片數} \times \text{翼寬} \times \text{翼展}}{\text{外徑面積} - \text{內徑面積}}$

4.若適當的調控翼長，雖然扇葉盤外徑改變翼展長度，也能使通氣比維持在固定的 50%

5. 翼寬 = $\frac{(\text{外徑面積} - \text{內徑面積}) \times \text{葉片遮避率}}{\text{葉片數} \times \text{翼展}}$

6. 翼展 = $\frac{\text{外徑} - \text{內徑}}{2}$

7. 翼厚 = 翼寬 \times 組推比 \times 倍數

(二)自製資料收集工具：根據 2011 國際科展作品「音效卡計時器及其應用」中發現，可利用光敏電阻取代麥克風來接收雷射光訊號，當扇葉轉動遮斷訊號時，便可在電腦的錄音檔中算出扇葉轉速，且誤差甚至可縮小到 0.00008 秒。



圖 5 自製音效卡轉速計

三、器材製作與組裝測試過程： (一)威爾斯渦輪器材：單向水流渦輪效能測試實驗

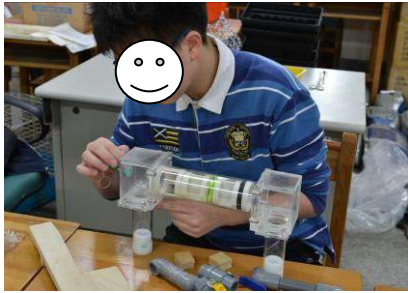


圖 6 組裝管路測試槽



圖 7 組裝水流管路



圖 8 修飾渦輪葉片

(二)複筒避震器材：雙向水流避震發電效能測試實驗

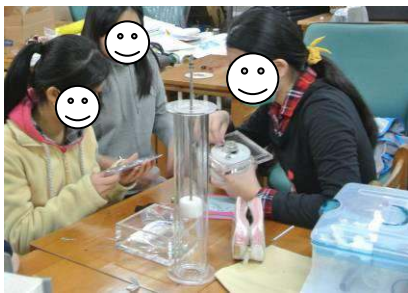


圖 9 組裝複筒避震器材

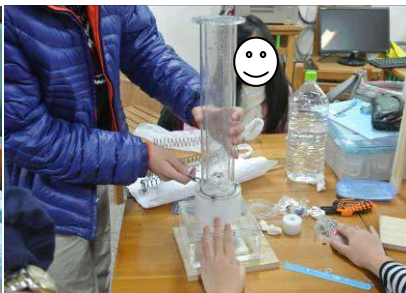


圖 10 測試調整液壓水流



圖 11 液壓推動渦輪葉片

四、變項操縱與控制：

(一)單向水流測試

變項 1：扇葉盤外徑對渦輪扇葉轉速的影響

思考：扇葉盤外徑增加，雖然會減少葉片的翼展長度，但因整個通氣量減少，使流速增加，是否也會改變轉速。



圖 12 不同扇葉盤外徑的渦輪

操作：在管路口徑(5cm)與翼寬相同下，比較五種外徑(1.5、2、2.5、3、3.5cm)的扇葉盤，以 22L/min 流量，經口徑管路時，記錄每秒的扇葉轉速。

變項 2：通氣比固定下扇葉盤外徑對渦輪扇葉轉速的影響

思考：扇葉盤外徑增加，若翼寬固定將降低通氣比，是否會連帶影響扇葉盤變項的結果。

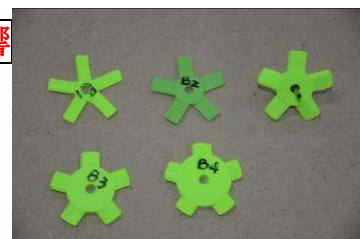


圖 13 通氣比 50% 扇葉盤外徑不同的渦輪

操作：調整翼寬使通氣比維持 50%，並在管路口徑(5cm)下，比較五種外徑(1.5、2、2.5、3、3.5cm)的扇葉盤，以 22L/min 流量，經口徑管路時，記錄每秒的扇葉轉速。

註：實驗一葉片與實驗二葉片的主要差異是在扇葉盤外徑改變時通氣比也會跟著改變所以實驗二是在探討改變翼寬，測量通氣比仍固定在 50% 時的效果

變項 3：渦輪葉片數量對轉速的影響

思考：渦輪葉片數量增加，雖然增加了受力面積，但也降低了通氣比，兩者之間是否也存在最佳的比例關係。

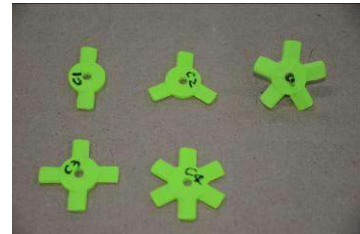


圖 14 扇葉數不同的渦輪

操作：在管路口徑(5cm)與翼寬相同下，比較五種數量(2、3、4、5、6 片)的渦輪葉片數，以 22L/min 流量，經口徑管路時，記錄每秒的扇葉轉速。

變項 4：翼面阻推比對渦輪扇葉轉速的影響

思考：阻推點位置會改變翼面起伏形狀，雖然增加推力面可降低阻力面比例，但會如何增加葉片前進轉動時的水阻。

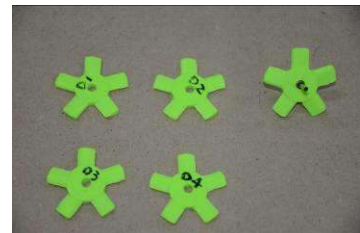


圖 15 組推比不同的渦輪

操作：在管路口徑(5cm)、翼寬、翼展、翼厚相同下，比較五種阻推比(1/10、2/10、3/10、4/10、5/10)的扇葉，以 22L/min 流量，經口徑管路時，記錄每秒的扇葉轉速。

變項 5：渦輪葉片厚度對轉速的影響

思考：扇葉越厚雖然可以增加推力所需的攻角，但也會因厚度而造成轉動時的阻力，能否找出水中最佳的厚度比例



圖 16 厚度不同的渦輪

操作：在管路口徑(5cm)、翼寬、翼展、阻推比相同下，比較五種(0.35、0.71、1.06、1.42、1.77cm)翼厚的扇葉，以 22L/min 流量，經口徑管路時，記錄每秒的扇葉轉速。

變項 6：通氣比對渦輪扇葉轉速的影響

思考：扇葉盤外徑與扇葉數量，可改變通氣比，進而影響扇葉轉動，但調整翼寬改變的通氣比，對轉速影響會如何。

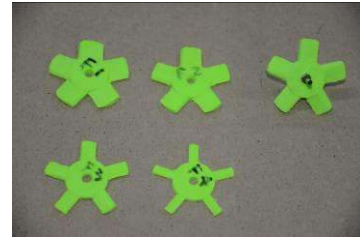


圖 17 通氣比不同的渦輪

操作：在管路口徑、扇葉盤、翼展、翼厚相同下，比較以翼寬調整出的五種通氣比(30、40、50、60、70%)扇葉，以 22L/min 流量，經口徑管路時，記錄每秒的扇葉轉速。

(二)雙向水流測試

變項 7：水流往復的頻率與強度對渦輪轉速的影響

思考：水流方向雖然不會改變扇葉轉動的方向，但會影響渦輪轉動的連續性，是否也會影響轉動的效果。



圖 18 理想 4 號渦輪

操作：以實驗一~六結果所歸納最佳的水中渦輪，在管路口徑(5cm)的複筒避震器實驗組中，比較四種頻率與強度

(低頻低速、低頻高速、高頻低速、高頻高速)的水流，記錄空載時的扇葉轉速。

變項 8：水流往復的頻率與強度對渦輪發電的影響

思考：水流方向的頻率與強度，會對渦輪轉動造成改變，是否也會影響發電的效果。



圖 19 渦輪發電測試

操作：比兩種最佳的水中渦輪，在管路口徑(5cm)的複筒

避震器實驗組中，比較四種頻率與強度 (低頻低速、低頻高速、高頻低速、高頻高速)的水流，記錄扇葉發電的效果。

表 1-2 威爾斯渦輪水中最佳化之規格

	外徑 (cm)	扇葉盤外徑 (cm)	葉片數	組推比	厚度 (cm)	翼寬 (cm)	翼展長 (cm)	通氣比
四葉低通氣比	4.5	3	四葉	2/10	1.23	2.06	0.75	30%
五葉低通氣比	4.5	3	五葉	2/10	0.98	1.64	0.75	30%
四葉中通氣比	4.5	3	四葉	2/10	1.05	1.76	0.75	40%
五葉中通氣比	4.5	3	五葉	2/10	0.84	1.41	0.75	40%



圖 20 四葉低通氣比
8 號渦輪



圖 21 五葉低通氣比
4 號渦輪



圖 22 四葉中通氣比
5 號渦輪



圖 23 五葉中通氣比
3 號渦輪

五、器材組裝與測試

所設計的威爾斯渦輪實驗可分為：**渦輪實驗組**、**複筒避震器實驗組**、**影像與數值分析**、**發電效能測試**四類。透過實驗組，除了可找出最佳的渦輪規格外，還能針對避震發電的效能進行實測，提供未來實際應用的依據。

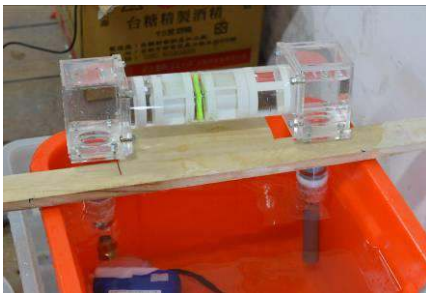


圖 24 威爾斯渦輪實驗槽

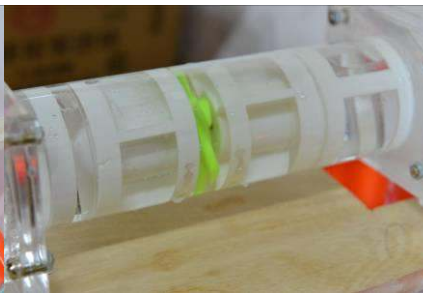


圖 25 單向水流測試管路

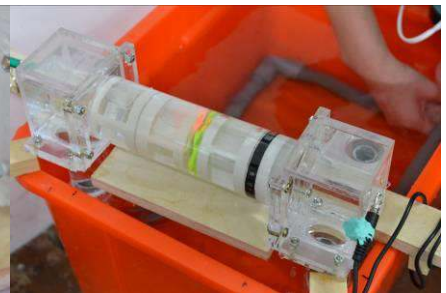


圖 26 雷射測速實測裝置



圖 27 實驗數據記錄與分析



圖 28 單向水流實驗操作



圖 29 避震器雙向水流實驗測試



圖 30 實驗影像記錄與分析

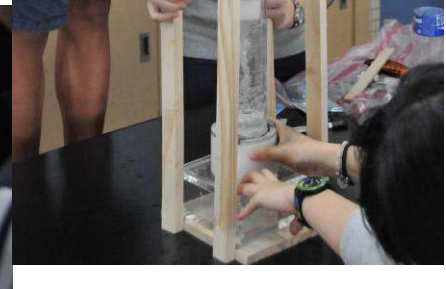


圖 31 雙向水流避震器組裝調整

伍、研究結果

探索二：探討影響威爾斯渦輪運轉效率的因素

實驗一：扇葉盤外徑對渦輪扇葉轉速的影響

結果：實驗日期 103 年 12 月 15 日~103 年 12 月 30 日

表 2-1 各扇葉盤外徑與渦輪轉速的關係

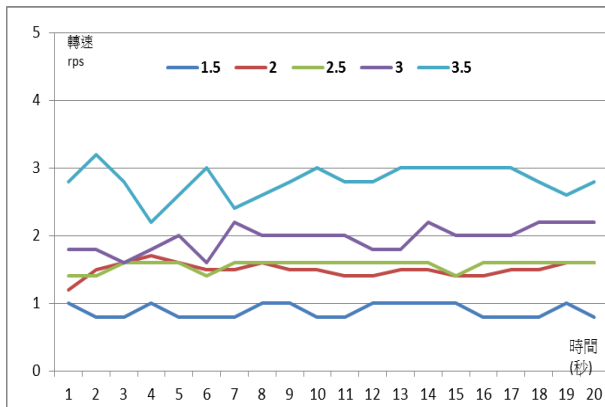
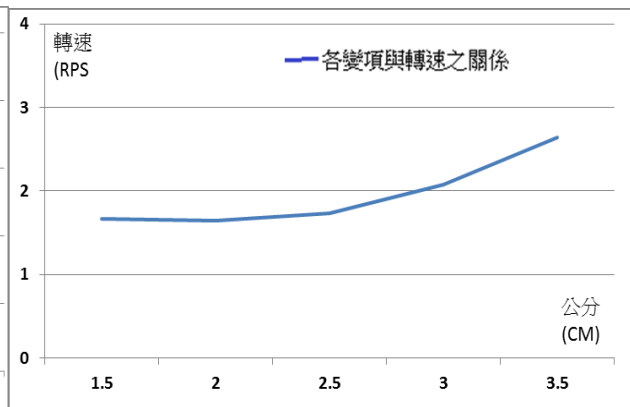


表 2-2 根據表 2-1 取各渦輪轉速之平均



發現：

- 1.通氣比連動情況下，當盤面外徑增加(1.5→3.5cm)，通氣比同時減少(55.8→42.2%、-13.6%)，但轉速依然增加(1.67→2.64rps、+0.97rps、+58%)
- 2.當連動的通氣比增加、外徑減少時，轉速降低不明顯(-0.06rps)，但當通氣比減少、外徑增加時，轉速明顯提升(+0.91rps)
- 3.由外徑對轉速的影響發現，外徑增加會縮小管路水流通過的截面積，導致流速增加，最後反應在扇葉的轉速上
- 4.由轉速看出外徑對轉速的影響，要比通氣比明顯，但若要單純看外徑對轉速的影響的話，就必須調整翼寬，使通氣比固定保持在 50%，而連動與固定的差距，就代表通氣比對轉速的影響

實驗二：通氣比固定下扇葉盤外徑對渦輪扇葉轉速的影響

結果：實驗日期 103 年 12 月 15 日~103 年 12 月 30 日

表 3-1 通氣比固定時盤外徑對轉速之影響

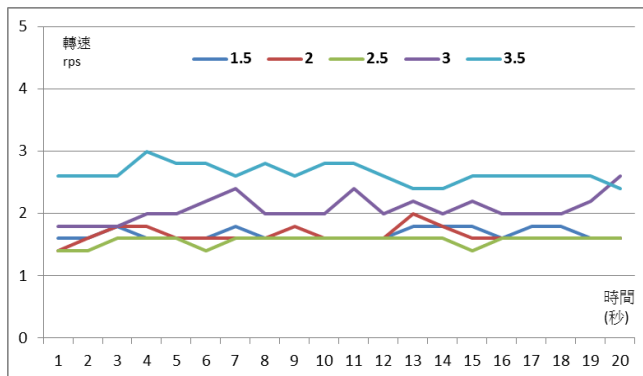
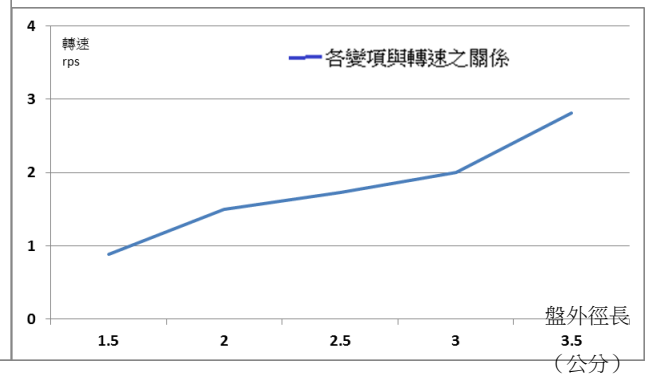


表 3-2 根據表 3-1 取各渦輪轉速之平均



發現：

- 1.通氣比固定情況下，當盤面外徑增加(1.5→3.5cm)，轉速增幅(1.07→2.8rpm、+1.73rpm、+161.7%)比通氣比連動的要大(連動：固定=58%：161.7%)
- 2.由實驗二平均轉速可看出外徑增加，同時調整葉片的翼寬，使通氣比固定保持在 50%，可以看出增加外徑對提升轉速的幫助
- 3.當外徑縮減，水流速度變慢時，若能提高通氣比，反而可以減緩轉速下降的幅度
- 4.再由不同扇葉盤外徑平均轉速來看，通氣比連動的差距(2.18~3.22rpm)比通氣比固定的差距(1.07~2.8rpm)小，可看出通氣比固定下，外徑對轉速的影響要比通氣比連動要明顯
- 5.根據實驗一、二可得知內徑與外徑的比例以 7:10 的效果最好

實驗三：渦輪葉片數量對轉速的影響

結果：實驗日期 104 年 01 月 02 日~104 年 01 月 10 日

表 4-1 渦輪葉片數量對轉速之影響

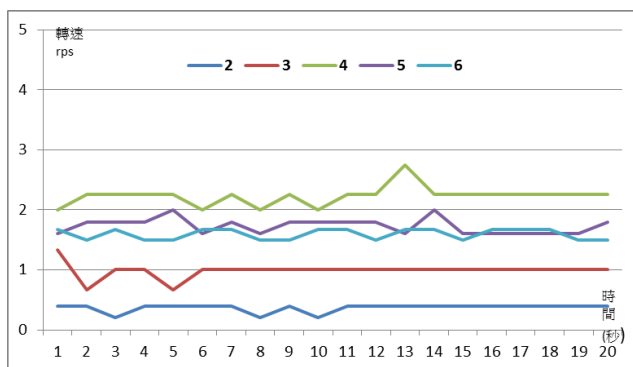


表 4-2 根據表 4-1 取各渦輪轉速之平均



發現：

- 1.當葉片數量增加(2→6片)，同時通氣比減少(80%→40%)，使得轉速受到葉片推力增加與

通氣比減少兩個因素的影響

2.當葉片數增加與通氣比降低雙重因素作用下，在**葉片數 4 片與通氣比 60%時達到最高轉速**。之後減少葉片、數增加通氣比與**增加葉片數、減少通氣比**，都會使渦輪轉速**降低**

(1)在測試葉片數 2 片，在空氣與在水中的差異時發現，在**空氣**中依舊可以轉動，推論扇葉雖然透過正面水流，產生的**橫向偏移的分向力**，但在轉動時也必須克服水的**阻力**，顯然水的**黏滯性**比空氣大，使轉動所需的分向力無法克服水的阻力

(2)葉片數**越多**，獲得轉動所需的分向力也**越大**，但在葉片數 5 以上時，轉速反而降低，分析導致抵銷分向力的原因

a.葉片轉動時須克服水的**阻力**，葉片**越多**轉動時水的**阻力也越大**

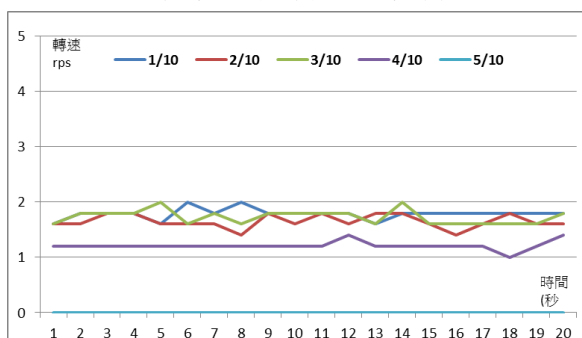
b.**通氣比降低**，導致**水流變慢**，使得作用在葉面上的正面水流變慢，連帶也**降低**轉動時所需的分向力

3,所以葉片的作用在提供，將**正面水流轉換葉片轉動時所需的分向力**，但通氣比除了會影響水的**流速**外，**葉片厚度**也會造成轉動時的水阻

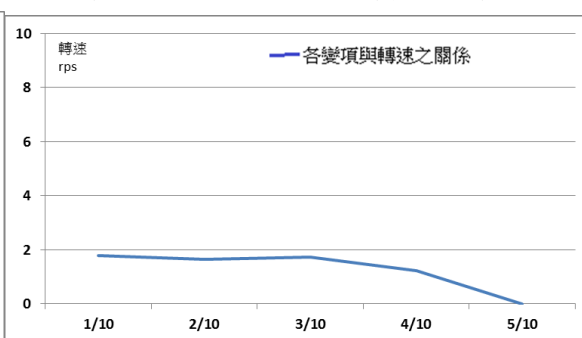
實驗四：翼面阻推點的位置對渦輪扇葉轉速的影響

結果：實驗日期 104 年 01 月 10 日~104 年 01 月 25 日

表 5-1 不同阻推點對轉速之影響



5-2 根據表 5-1 取各渦輪轉速之平均



發現：

- 1.阻推點在 **1/10 翼寬**的位置，推力為阻力的**9 倍**時轉速**最快(1.79rpm)**
- 2.阻推點從 **2/10** 到 **3/10 翼寬**位置，推力從阻力的 4 倍降到 **2.3 倍**，轉速變化不大(1.65rpm)



圖 32 阻推點 1/10(左)、5/10(右)

3.但在阻推點 **4/10 翼寬**位置，推力降到 **1.5 倍**，轉速明顯下降(1.21rps)，直到阻推比相同時才平衡不動

4.阻推比越大(1/10)但轉速沒有明顯提升，推論原因

(1)阻推點的位置，會影響翼面前緣的流線形狀

(2)阻推點越靠近翼面前緣，翼面阻力區和葉片轉動方向越接近垂直，造成增加的**推力**，反而被翼面前緣因形狀所增加的**阻力**給抵銷

(3)阻推點越靠近翼面中點，翼面阻力區和葉片轉動方向越接近水平，雖然可以**降低翼面前緣**因形狀所造成的**阻力**，但也同時**降低了推力**

5.從阻推點 1/10 到 3/10 翼長位置，翼面前緣形狀的**阻力**與**推力**都會同時**降低**，除非解決翼面前緣因形狀所造成的**阻力**，否則阻推點 1/10 到 3/10 **翼寬**位置對轉速的影響都不大

實驗五：渦輪葉片厚度對轉速的影響

結果：實驗日期 104 年 01 月 20 日~104 年 01 月 25 日

表 6-1 渦輪葉片厚度與轉速關係

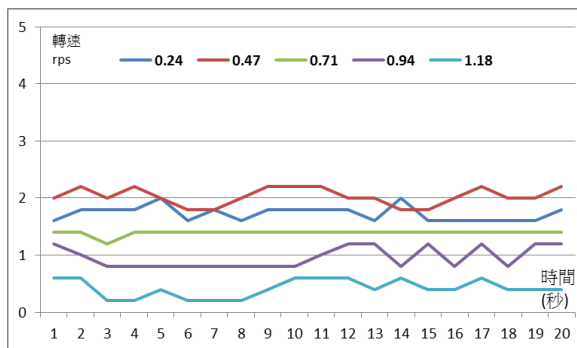
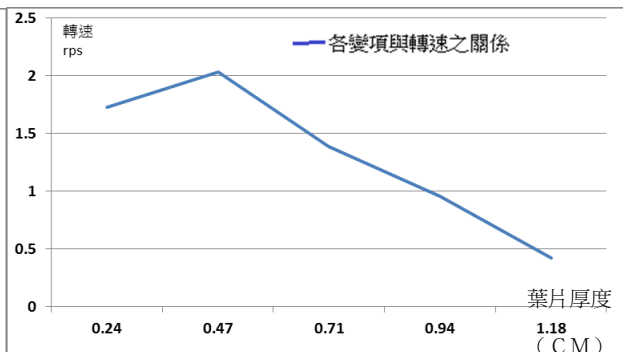


表 6-2 根據表 6-1 取各渦輪轉速之平均



發現：

1.葉片厚度以 **0.71cm** 的轉速最快
(2.03rps)，相當於基準厚度的**兩倍**

2.葉片厚度**變厚**(1.06cm)對造成轉速

(-0.64rps)的影響，比葉片**變薄**(0.35cm)明顯(-0.3rps)

3.葉片厚度增加，可轉換**正面水流較多**的分向力，有助於**提高葉片轉動時的推力**，但相對的也會**增加轉動時水的阻力**



圖 33 不同厚度的葉片

4.當厚度為基準厚度的**5倍**時，在水中幾乎不轉，但在**空氣**中卻可轉動，可看出厚度雖然可以增加轉動時所需的推力，但效果會因厚度造成轉動時的**阻力**所抵銷

5.比較**空氣(0.24cm)**與**水中(0.71cm)**最佳葉片厚度的差別

(1)葉片**厚度**對**推力**影響，**黏滯性**高的水，要比**黏滯性**低的**空氣**明顯

(2)葉片**厚度**對轉動時**阻力**的影響，**黏滯性**低的**空氣**，比**黏滯性**高的水要小

6以**翼寬(1.18cm)**的**1/5**為**基準厚度(0.24cm)**，對於**黏滯性**較高的流體，可以**增加1~2倍**的基準厚度，而**黏滯性**較低的流體，則要減少**0~50%**的基準厚度

實驗六：通氣比對渦輪扇葉轉速的影響

結果：實驗日期 104 年 01 月 10 日~104 年 01 月 25 日

表 7-1 通氣比與轉速之關係

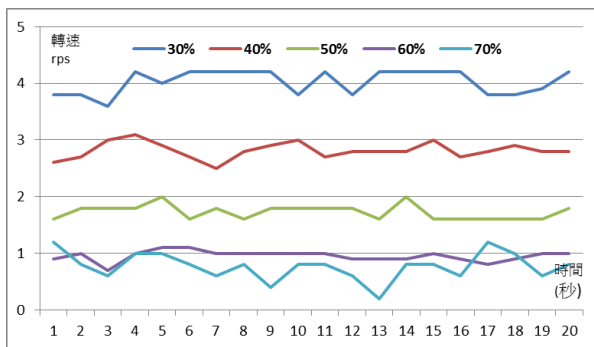
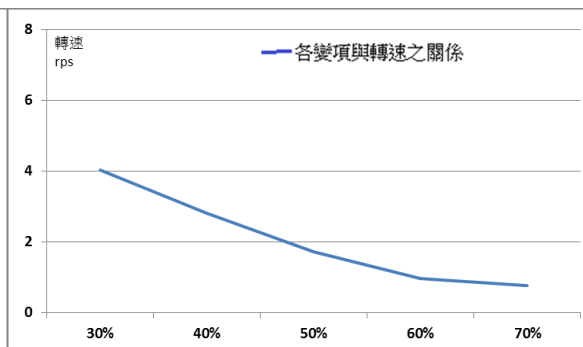


表 7-2 根據表 7-1 取各渦輪轉速之平均



發現：

1.在不改變外徑下，**通氣比**越**低 30%(高 70%)**，**轉速**越**快**

4.03rps(慢 0.77rps)

2.比對實驗一的發現，外徑增加所降低的**通氣比**，反而使**轉速**變**慢**，兩者的差別在於單片葉片的**面積**，前者會因外徑增加而面積縮減，即使因水流截面變少而**增加流速**，不如以調整**翼寬**的方式來改變**通氣比**，一來水流截面與葉片受力都不減，反而還可以**提高轉速**

3.再比對實驗三的发现，從**增加葉片數量(2→6片)**所提升的**轉速(0→2.23→1.59rps)**來看，也是在不改變外徑的前提下，增

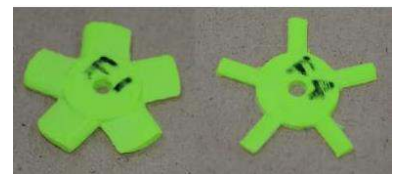


圖 34 不同翼寬的葉片



圖 35 增加葉片數量

加葉片面積的同時，也是利用降低通氣比的方式，提升轉速

4.利用外徑不變、改變翼寬來減少通氣比的方式，對轉速提升(0.77→4.03rps)的效果，明顯比翼寬不變、改變外徑(2.18→3.22rps)的方式好 5.利用增加翼寬、減少通氣比來提高扇葉轉速的效果不錯，但通氣比若過低(<30%)，將使葉片間隙縮小，通過其間的水流阻力也會增加，而和實驗三因葉片過多，導致轉速下降的結果發生

實驗七：水流往復的頻率與強度對渦輪轉速的影響

結果：實驗日期 104 年 01 月 28 日~104 年 02 月 10 日

表 8-1：三號渦輪葉片在不同頻率與幅度組合水流下的轉動結果

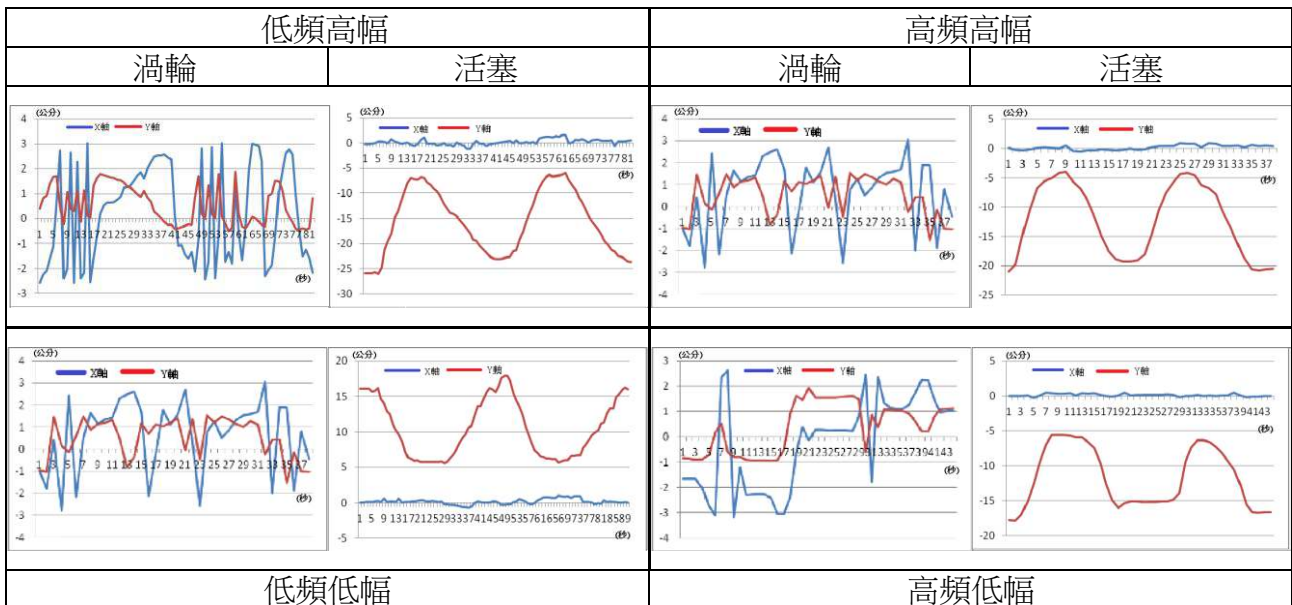


表 8-2：四號渦輪葉片在不同頻率與幅度組合水流下的轉動結果

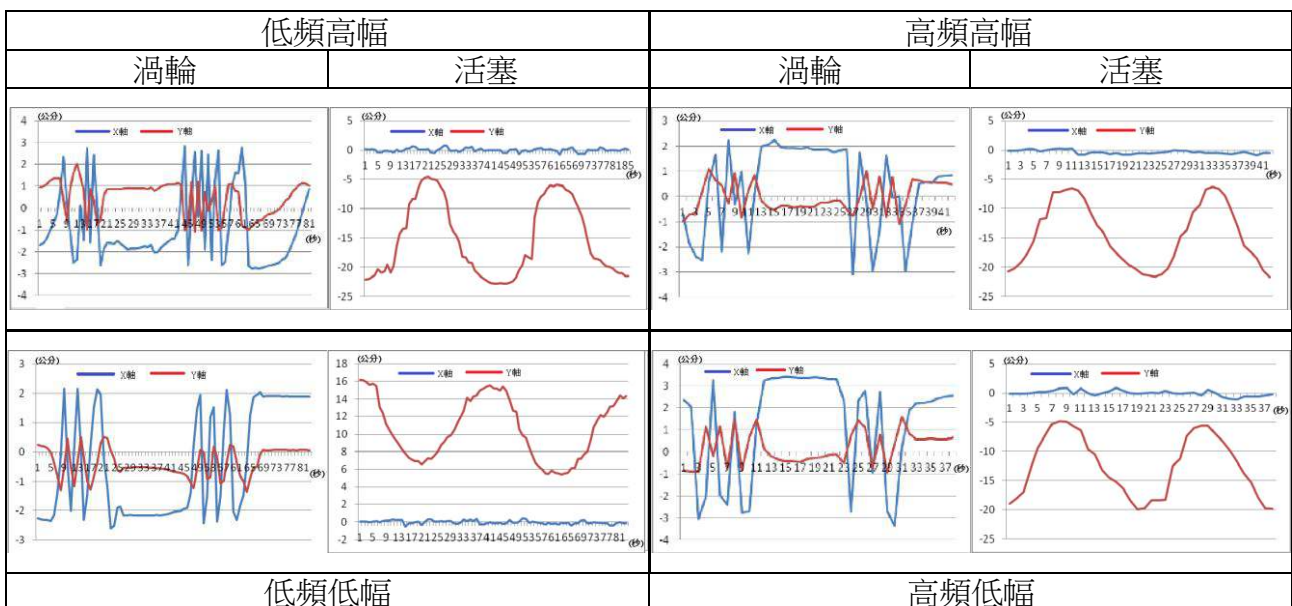


表 8-3：五號渦輪葉片在不同頻率與幅度組合水流下的轉動結果

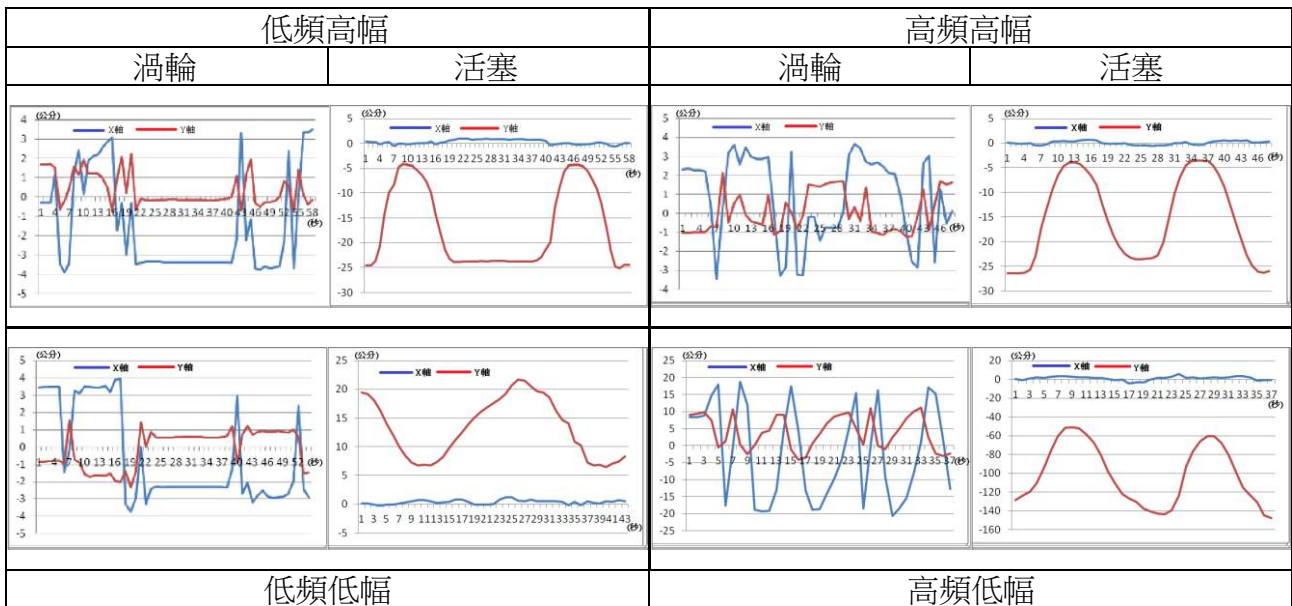


表 8-4：八號渦輪葉片在不同頻率與幅度組合水流下的轉動結果

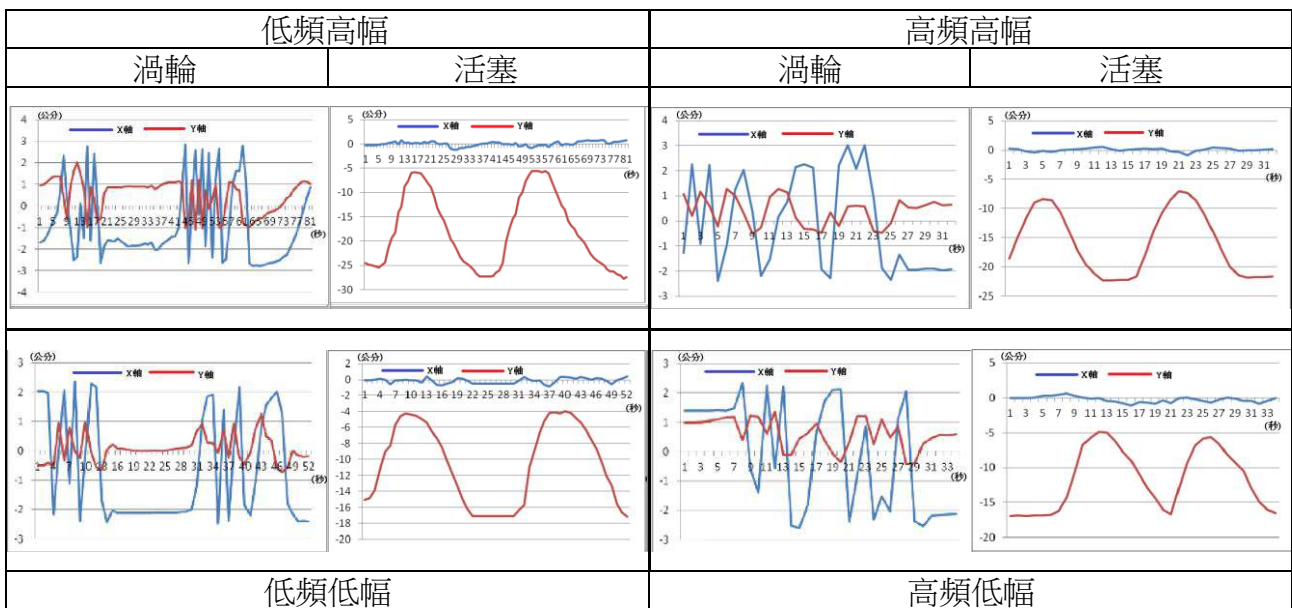


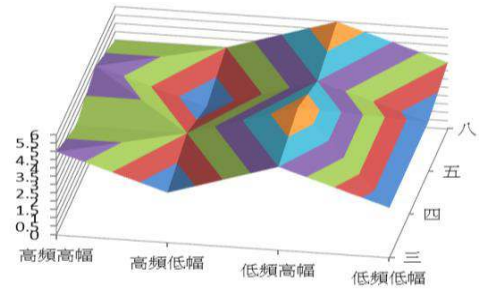
表 8-5：渦輪葉片在不同頻率與幅度組合水流下轉動結果比較

項目	頻率	震幅	三號		四號		五號		八號		模式效果
			下水流	上水流	下水流	上水流	下水流	上水流	下水流	上水流	
低頻低幅	40	14.5	3	0	3	0	2	1	4	0	13
低頻高幅	40	22	4	1	6	0	5	0	6	0	22
高頻低幅	90	14.5	2	1	3	1	2	1	3	1	14
高頻高幅	90	22	3	2	3	1	3	2	3	1	18
渦輪效果			16		17		16		18		

單位：渦輪轉動次數/每單位週期

發現：

- 1.水流方向轉動效果：下水流 > 上水流
- 2.渦輪種類轉動效果：八號 > 四號 > 五號 > 三號
- 3.雙向水流擺盪型態：低頻高幅 > 高頻高幅 > 高頻低幅 > 低頻低幅



- 4.雙向水流擺盪因素：幅度 > 頻率
- 5.避震作用時，下壓的速度會比回彈時要快，造成下水流的轉數會比上水流時要多。
- 6.水的阻力比空氣大，要產生穩定轉速的時間較長，所以過快的往復頻率，使渦輪來不及與轉動產生接續的平衡，導致高頻高幅的轉數反而比高頻高幅的少。
- 7.四種渦輪對各種雙向水流的總轉數來看，差異並不大，反而水流如何雙向的變化，差距就能明顯看出，高幅優於低幅(22>13)，而且還足夠彌補因頻率低所減少的轉數(22>18)。
- 8.配合最大轉數水流，行程+50%、轉數則增加 69%；而頻率+50%、轉數反而減少 18%。

雙向水流對無負載渦輪轉數影響

實驗八：水流往復的頻率與強度對渦輪發電的影響

結果：實驗日期 104 年 02 月 03 日~104 年 02 月 27 日

表 9-1：三號渦輪葉片在不同頻率與幅度組合水流下負載發電的轉動結果

低頻高幅		高頻高幅	
渦輪	活塞	渦輪	活塞
低頻低幅		高頻低幅	

表 9-2：四號渦輪葉片在不同頻率與幅度組合水流下負載發電的轉動結果

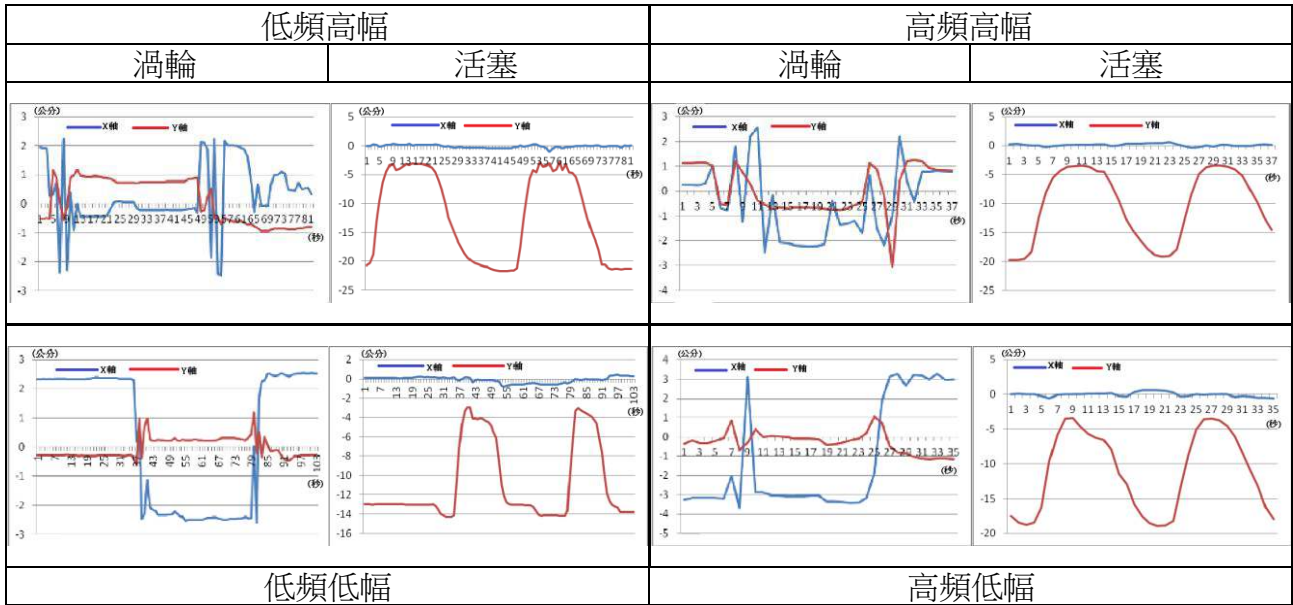


表 9-3：五號渦輪葉片在不同頻率與幅度組合水流下負載發電的轉動結果

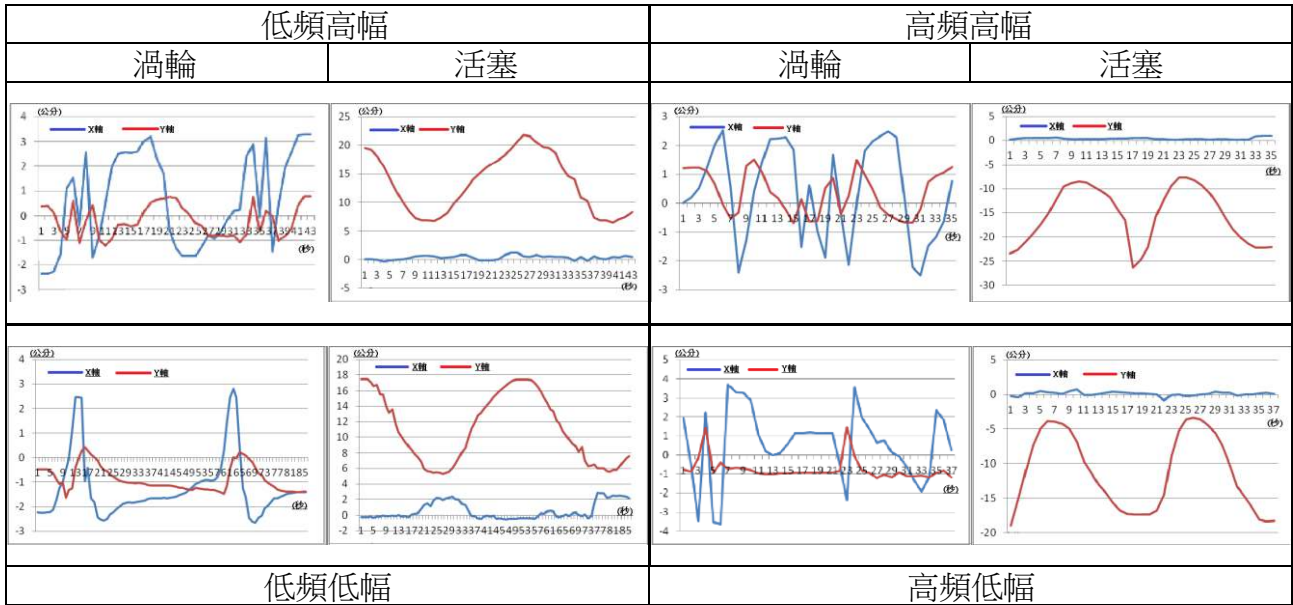
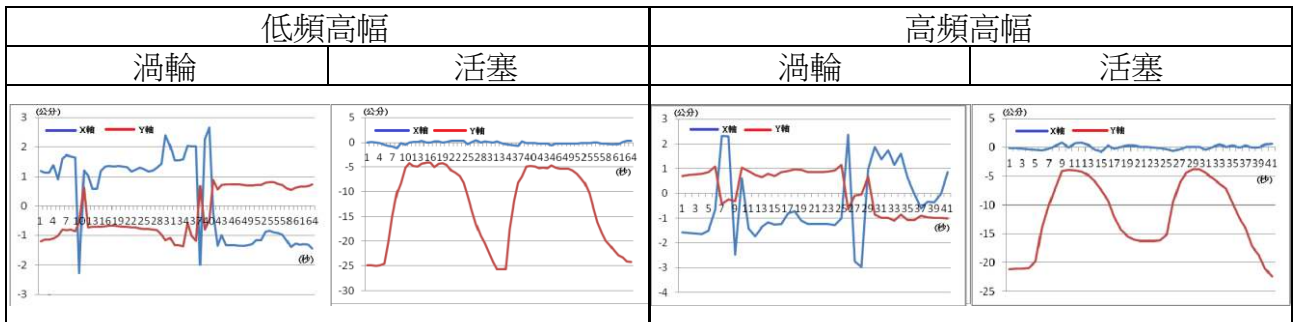


表 9-4：八號渦輪葉片在不同頻率與幅度組合水流下負載發電的轉動結果



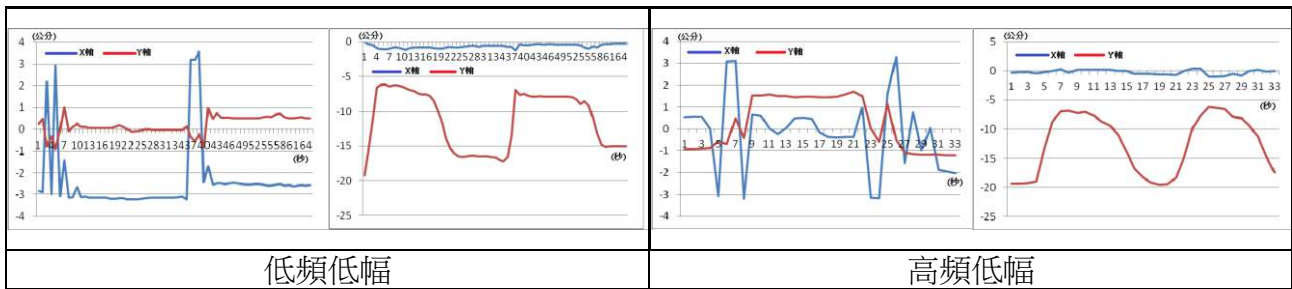


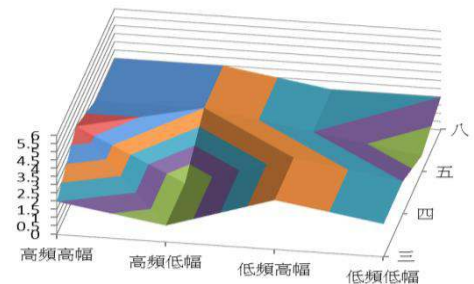
表 9-5：渦輪葉片在不同頻率與幅度組合水流下負載發電轉動結果比較

項目	頻率	震幅	三號		四號		五號		八號		模式
模式	次/分	cm	下水流	上水流	下水流	上水流	下水流	上水流	下水流	上水流	效果
低頻低幅	40	14.5	2	0	2	0	1	0	2	0	7
低頻高幅	40	22	3	0	3	0	2	0	2	0	10
高頻低幅	90	14.5	1	0	1	0	3	0	2	1	8
高頻高幅	90	22	1	1	3	1	2	1	2	1	12
渦輪效果			8		10		9		10		

單位：渦輪轉動次數/每單位週期

發現：

- 1.水流方向轉動效果：下水流 > 上水流
- 2.渦輪種類轉動效果：八號 > 四號 > 五號 > 三號
- 3.雙向水流擺盪型態：高頻高幅 > 低頻高幅 > 高頻低幅 > 低頻低幅



雙向水流對無有載渦輪轉數影響

- 4.雙向水流擺盪因素：幅度 > 頻率
- 5.有馬達發電的負載轉數明顯降低，由高頻高幅(12)比低頻高幅(10)的轉數高看出，此時水流往復的頻率頻率要比無負載時要快，才能產生接續的平衡。
- 6.由低頻低幅(7)比高頻低幅(8)的的轉數差不多則又看出，往復水流若沒有達到渦輪穩定轉動時所需的水流幅度的話，即使頻率提高(40→90 次/分)效果也有限。
- 7.配合最大轉數水流，行程+50%、轉數則增加 43%；而頻率+50%、轉數同樣也增加 20%。

陸、討 論

探索三：分析威爾斯渦輪的運轉效率

討論一：歸納影響渦輪轉速變項間的交互作用

1.比較扇葉盤外徑連動通氣比對渦輪轉速的影響

- (1)扇葉盤外徑效果：外徑大>外徑小
- (2)通氣比加成效果：通氣比大>通氣比小
- (3)外徑通氣比效果：外徑>通氣比
- (4)通氣比連動效果：通氣比固定>通氣比連動

2.分析渦輪葉片對轉速的影響

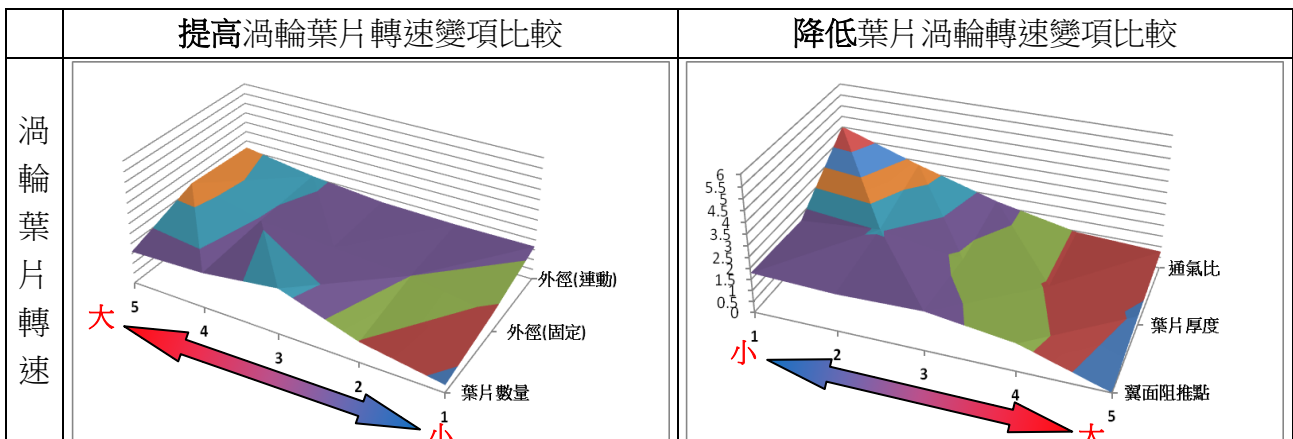
- (1)葉片數量效果：葉片多>葉片少
- (2)阻推點位置：翼面前緣>翼面中央
- (3)葉片厚度效果：翼寬的 60%>翼寬的 20%
- (4)通氣比效果：通氣比小>通氣比大
- (5)渦輪葉片變項：通氣比>外徑固定通氣比>翼面阻推比>葉片厚度>葉片數量
>外徑連動通氣比

3.扇葉盤外徑、渦輪葉片與轉速的關係

- (1)盤面外徑固定下，通氣比愈高則渦輪轉速愈慢
- (2)通氣比固定下，盤面外徑增加則渦輪轉速變快
- (3)葉片面積固定下，盤面外徑增加時通氣比降低

4.水流速度、渦輪葉片與通氣比例的交互作用

- (1)水流速度固定時，葉片面積愈大則渦輪轉速增快
- (2)水流速度固定時，通氣比愈高則渦輪轉速變慢
- (3)葉片面積固定時，水流速度愈快則渦輪轉速增快
- (4)通氣比例固定時，葉片面積愈大則水流速度愈慢



討論二：推論渦輪葉片效率的經驗公式

(一)由討論一歸納，可看出渦輪葉片變項對運轉的影響

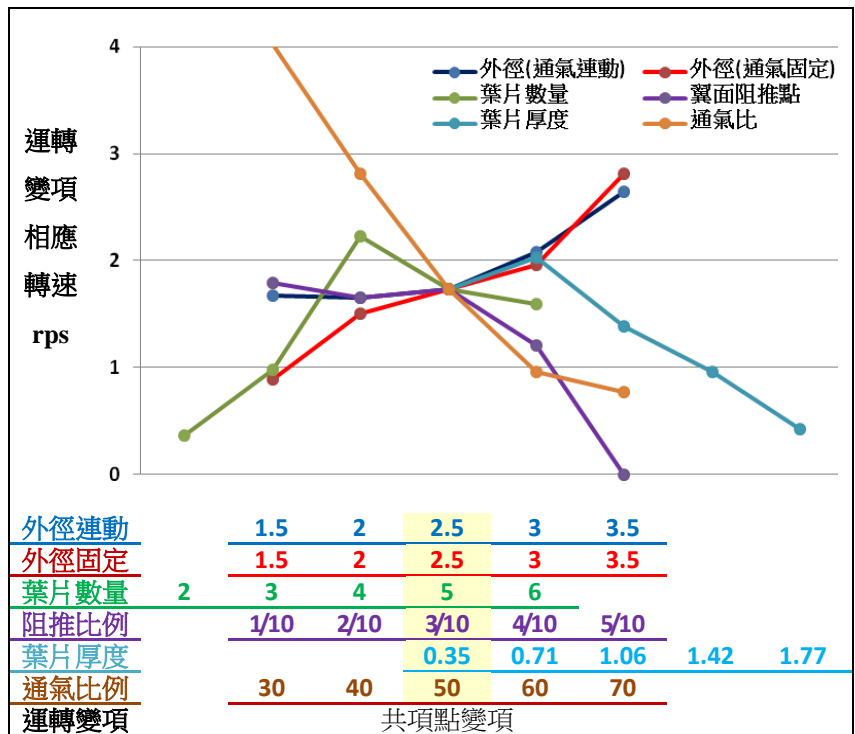
1. 扇葉盤面外徑、葉片數量

成正比

2. 翼面阻推比，通氣比、葉片厚度

成反比

3. 各變項效能比較(rps)：通氣比(3.26)、外徑固定通氣比(1.92)、翼面阻推比(1.79)、葉片厚度(1.31)、葉片數量(1.22)、外徑連動通氣比(0.97)



(二)從渦輪葉片變項對運轉速度的影響，可進一步整理出渦輪葉片運轉的經驗公式

由變項的比較可看出水流速度、葉片面積與厚度，翼面阻推比、通氣比、對轉速的影響，並進一步整理出渦輪扇葉運轉的經驗公式

$$\begin{aligned} \text{經驗公式一：水流速度}(W_s) &= \frac{\text{單位時間進水量}}{\text{管路內水流截面積}} = \frac{\text{單位時間進水量}}{\text{管路口徑截面積} - \text{扇葉盤面積}} \\ &= \frac{L}{\pi \times R^2 - \pi \times r^2} = \frac{L}{\pi \times (R^2 - r^2)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{經驗公式二：作用水流}(W_e) &= \text{水流速度} \times \text{扇葉總面積} = \text{水流速度} \times (\text{扇葉面積} \times \text{扇葉數量}) \\ &= \frac{L}{\pi \times (R^2 - r^2)} \times (a \times s) = \frac{L \times a \times s}{\pi \times (R^2 - r^2)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{經驗公式三：扇葉運轉效能}(O_e) &= \text{作用水流} \times (\text{翼面阻推比} \times \text{扇葉厚長比} - \text{翼緣水阻}) \\ &= \text{作用水流} \times \left(\frac{\text{翼長推力長度}}{\text{翼長阻力長度}} \times \frac{\text{翼厚}}{\text{翼長}} - \text{翼厚} \times \text{翼展} \right) \\ &= \frac{L \times a \times s}{\pi \times (R^2 - r^2)} \times \left(\frac{W_{P_d}}{W_{B_d}} \times \frac{W_T}{W_L} - W_T \times W_U \right) \end{aligned}$$

其中公式三的扇葉運轉效能，可視為單位作用水流在一定時間內，所轉換的運轉效能→

$\frac{We \times Oe}{t}$ ；而公式二看出，透過改變翼長、翼展來調整扇葉面積，便可改變水流對扇葉的作用；

再從公式一看出，當單位進水量與管路口徑固定，透過改變扇葉盤外徑與扇葉通氣比，也可改變水流在管路中的流速

討論三：尋求渦輪運轉變項的最佳組合

由推論的經驗公式，除了進一步瞭解變項間的交互作用外，還能根據現有條件、需要來設計最有效率的渦輪。由公式預估，水流、葉片面積與翼面型態，影響渦輪轉動的效果。在以空氣中最佳效率的規格做為共同變項的基準點(共項點)，比較在水中各變項對運轉的影響

表 10-1 水中及空氣中效能最佳之渦輪規格

變項	範圍	單位	水中最佳	空氣最佳
外徑連動	1.5~3.5	cm	3.5cm	2.5cm
外徑固定	1.5~3.5	cm	3.5cm	2.5cm
葉片數量	2~6	片	4片	5片
阻推比例	1/10~5/10	比值	1/10	2/10
葉片厚度	0.35~1.77	cm	0.71cm	0.24cm
通氣比例	30~70	%	30%	50%

ps:以上渦輪葉片是以管路口徑，也就是渦輪外徑 5cm 做為比較基準

表 10-2 最佳化渦輪扇葉規格及效能比較

變項	盤面外徑	葉片數	阻推比	葉片厚度	通氣比
氣體最佳化(rps)	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
水中最佳化(rps)	2.8	2.2	1.8	2	4
提升比例	64.7%	29.4%	5.9%	17.6%	135.3%

比較空氣與水中葉片最佳規格發現，兩者最大的差別應該是在密度與黏滯性。經查資料得知水的密度 $1g/cm^3 = 1000kgw/m^3$ ，空氣 $1.29g/l = 0.00129g/cm^3 = 1.29kgw/m^3$ ，差距 775 倍；而水的黏度 $1 mPa \cdot s$ ，空氣 $0.018mPa \cdot s$ ，差距 55.5 倍。

根據實驗及以上資料，證明當密度與黏滯性增加後，扇葉的規格也要因應流體的特性改變，才能發揮渦輪最佳的運轉效能。

推論：當流體密度與黏滯性增加，與提升渦輪葉片運轉效能的關聯

1.增加外徑：當扇葉盤外徑增加，連帶縮減扇葉盤與管路內壁間水流的截面積，使水的流速增加。雖然水流比空氣慢，能作用到的葉片總面積也縮減，但當密度與黏滯性增加後，每單位面積作用的密度也增加，再加上流速提高，便能提升運轉效能。

- 2.減少葉片數量：減少葉片數量，推論是要減少每片葉片轉動時，翼緣攻角所產生的水阻。
- 3.增加葉片受力面積：而增加水流截面中葉片面積的比例，就會縮減到葉片間隙的通氣比，推論水不像空氣，需要較多的通氣比，流經葉片間隙保持流速，否則會降低氣體作用在葉片上單位面積的效能。
- 4.提高翼面推力比：水中扇葉翼面阻推點比空氣更靠近翼面前緣，推論密度與黏滯性增加，使流速變慢，利用單位面積作用力較大，能以較高的推力比，克服渦輪轉動時的水阻。
- 5.增加葉片厚度：當密度與黏滯性增加，葉片越厚與翼緣的攻角也增加，轉換推力的分向力就越大，來因應較慢的流速，但也會因扇葉的截面積增加，也會造成轉動時的阻力。
- 6.減少葉片通氣比：密度與黏滯性對水中渦輪扇葉通氣比影響，推論縮小葉片間隙對低速水流影響不大，同時增加葉片受力面積，則有利於單位面積作用力較大的水來運作。

探索四：利用威爾斯渦輪自製液壓避震充電系統

討論四：探討液壓避震器環保、節能的設計

理由：

- 1.液壓避震通常利用管路口徑調節液體流量，達到緩衝避震目的
- 2.避震時流體通過管路摩擦內壁，將動能以熱的方式散掉，無發回收
- 3.液壓避震作用時，管路內液體以往復方式來回流動
- 4.一般渦輪面對往復式流體呈來回方向運轉，將不符穩定發電需求
- 5.威爾斯渦輪針對往復及不對稱流體方向，都能維持穩定轉向與速度

問題：

- 1.選擇適合威爾斯渦輪運轉的液壓避震器種類
- 2.要配合液壓避震內徑，計算出最佳化渦輪扇葉規格
- 3.設計將液壓流動動能導出發電的裝置

解決策略：

- 1.液壓避震可分單筒及複筒式，找出具有往復水流位置

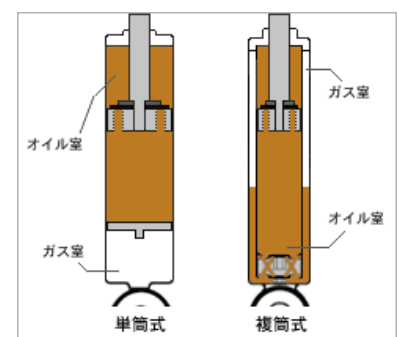


圖 36 液壓避震器(單筒、複筒)

- (1)單筒式位在**移動桿**的活塞上，需不斷上下移動，再裝上渦輪及將動力導出，設計較難
 - (2)複筒式位在底部**內外筒交接處**，渦輪可固定在底部，動力導出的距離短，設計難度較低
- 2.由討論歸納得知，威爾斯渦輪在**水中運轉**的最佳規格，配合**複筒式內筒**的**內徑**(4.6cm)，最後計算出四種規格

討論五：組裝威爾斯渦輪液壓避震發電系統

機械與電路結構設計過程

- 1.渦輪動力若透過馬達軸心連接直接導出，將無法保持氣密導致避震液流出，若用氣密佳的**軸封**，對於小動力的渦輪耗損可能過大。所以利用渦輪轉動時帶動下方的磁鐵盤，再與另一水密隔間的馬達轉盤上磁鐵相互吸引，進而帶動馬達(9V)軸心轉動發電。

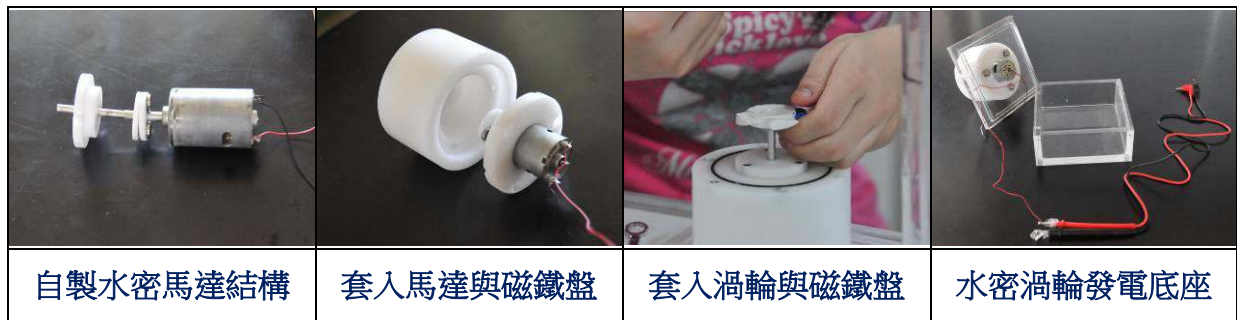


圖 37 組裝複筒避震器之 1

- 2.為讓渦輪充分發電，將影響水流在內、外筒間流動的水阻減到最低，方式有：內外筒間的流通孔徑，加上複筒上蓋鑽通氣孔，可平衡內外氣壓，最後保持活塞和內的的密合度，使液體不會從活塞與內壁間產生回流。



圖 38 組裝複筒避震器之 2

- 3.為充分利用所發的電，透過麵包板(電路)，除了可以透過整流器將電流轉成直流電使用或儲存外，加上開關的切換，也能依需求選擇避震充電與用電的各種組合。

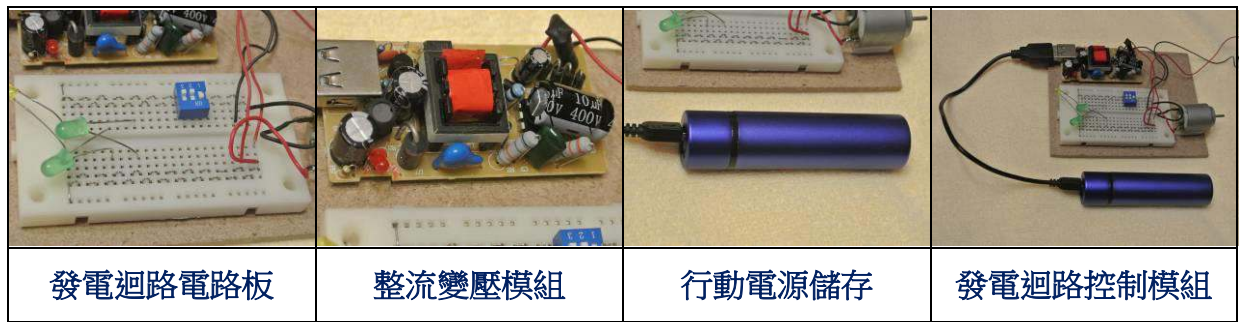


圖 39 充電模組

4.為了解避震器的避震與發電間的轉換效能，同時避免模型損壞，在複筒外加上保護的支撐架後，裝上避震彈簧與施力壓板，便可開始模擬實際使用時，會面臨到低頻低幅、低頻高幅、高頻低幅、高頻高幅等四種頻率與幅度的組合。

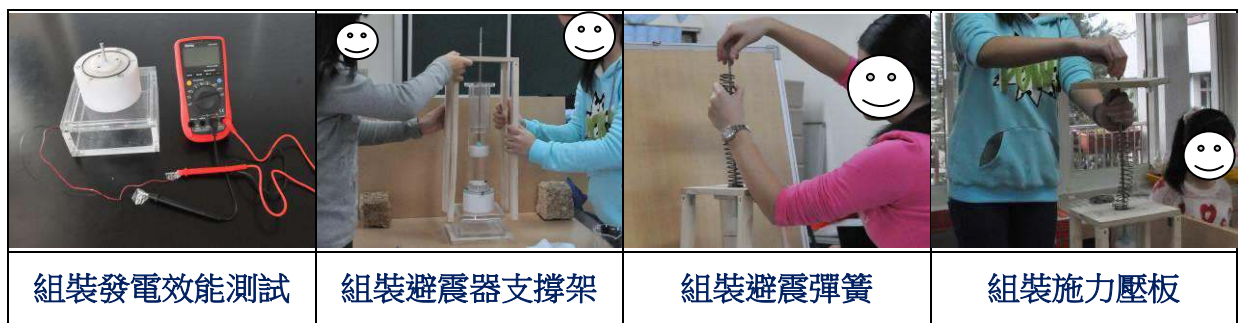


圖 40 實際模擬

討論六：威爾斯渦輪液壓避震發電系統實測結果

結果：

表 11-2 渦輪葉片在不同頻率與幅度水流發電效果比較

渦輪種類	三號			四號			五號			八號		
單位	mV	mA	W	mV	mA	W	mV	mA	W	mV	mA	W
低頻低幅	770	660	0.51	930	890	0.83	860	750	0.65	1020	910	0.93
低頻高幅	1180	1020	1.20	1470	1270	1.87	1350	1230	1.66	1560	1440	2.25
高頻低幅	940	810	0.76	1250	920	1.15	1280	950	1.22	1340	1120	1.50
高頻高幅	1260	930	1.17	1550	1380	2.14	1430	1020	1.46	1780	1750	3.12

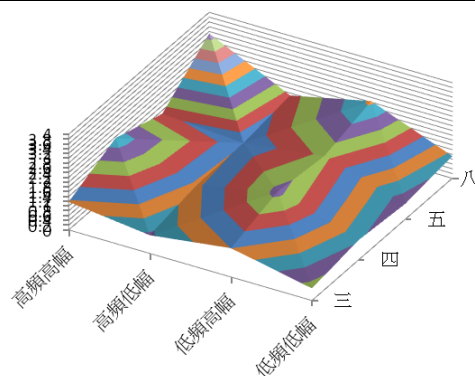
發現：

1. 渦輪種類轉動效果：八號 > 四號 > 五號 > 三號

2. 雙向水流擺盪型態：高頻高幅 > 低頻高幅 >

高頻低幅 > 低頻低幅

3. 雙向水流擺盪因素：幅度 > 頻率



4. 渦輪負載發電時轉動的圈數有關，圈數多轉速自然就

快，才有機會發電。

渦輪葉片發電效果比較

5. 由八號渦輪在高頻高幅的情況下，發電功率可達 3.12W，就算是在低頻低幅下也有

0.93W，證明威爾斯渦輪的設計，可以成功應用在避震的發電上。

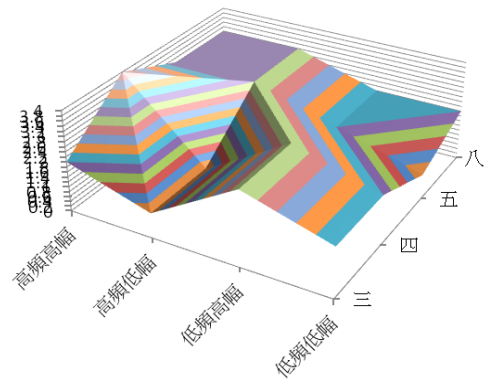
表 11-3 渦輪葉片在負載發電轉數差異比較

項目	頻率	震幅	三號		四號		五號		八號		模式效果
			下水流	上水流	下水流	上水流	下水流	上水流	下水流	上水流	
低頻低幅	30	20	-1	0	-1	0	-1	-1	-2	0	-6
低頻高幅	30	30	-1	-1	-3	0	-3	0	-4	0	-12
高頻低幅	45	20	-1	-1	-2	-1	-1	-1	-1	0	-6
高頻高幅	45	30	-2	-1	0	1	-1	-1	-1	0	-6
渦輪效果			-8		-7		-7		-8		

6. 水中威爾斯渦輪的轉動比空氣慢，要是沒有找出最

佳的規格，轉動效果會更差，幸好水阻大，使得渦輪一但轉動後，扭力也大，足以帶動 9V 的馬達發電。

7.由高頻(45 次/分)的活塞頻率對照上表，以**八號渦輪+高頻高幅**為例：算出活塞每往復一次，有、無發電負載間，就會產生一圈(-1)的渦輪轉數差距，換算無負載轉速(180rpm)與有負載轉速(135rpm)其中的 45rpm 轉速落差，是被轉換成 3.12W 的電。



渦輪葉片負載發電轉數差異比較

8.但比對**三號渦輪+高頻高幅**又發現：有、無發電負載間就有三圈(-3)的轉數差，換算無負載轉速(225rpm)與有負載轉速(90rpm)其中的 135rpm 轉速落差，反而只有 1.17 的電。推測三號並非水中最佳渦輪規格，空載時轉速雖然快，一但產生發電負載，扭力無法推動馬達維持快轉發電。

9.渦輪在水中轉動快，扭力不一定大，而扭力大的渦輪，有時轉速都不一定是最快。

10.由比對原型渦輪扇葉證明

(1)水中與空氣中最佳化扇葉的確不同

(2)根據實驗發現所設計的最佳化水中渦輪扇葉，可**成功應用在避震的發電上**

(3)**威爾斯渦輪**特殊的轉動型態，可用於避震器**往復式的液壓流動**上

(4)避震發電的功率相當高，受 **20~30cm** 水流幅度、**40~90 次/分**水流變動頻率，瞬間可達 **0.51~3.12W** 電力，若能配合電力儲存裝置將更能提高實用性

11.發電機原本由沉水馬達改裝，功率為 9V，以發電量來看，還有很大的發電空間，但由於沉水馬達扇葉與電樞是以非接觸的磁力帶動，若能解決馬達的水密問題，高效發電的理想就有可能達成

柒、結 論

- 一、利用自製的水流渦輪實驗組，透過實驗，找出**渦輪轉速**與**扇葉盤外徑**、**葉片數量**、**翼面阻推點**、**葉片厚度**、**通氣比**等之間的連動關係，並歸納出運轉變項的**最佳組合**，不僅能有效提高**渦輪運轉效率**，甚至還可依現有條件，搭配出最有效率的**避震與發電組合**
- 二、由變項效能比較：**通氣比** > **外徑固定通氣比** > **翼面阻推比** > **葉片厚度** > **葉片數量** > **外徑連動通氣比**，可看出渦輪轉速主要受到**流體速度**、**葉片面積**、**翼面型式**所影響
- 三、利用空氣中**威爾斯渦輪**最佳規格，透過實驗歸納找出水中的最佳規格，證明**流體的密度**與**黏滯性**對**渦輪運轉**間的相互影響
- 四、提昇發電效能的關鍵，在於有效提高**流速**，若能將避震作用時強大動能，透過**最佳化渦輪**的傳動，水流以 **14.5~22cm** 幅度、**40~90** 次/分頻率，瞬間可達 **0.51~3.12W**，相當可觀
- 五、調整**發電負載**所產生的**阻尼強度**，便可提供不同程度**避震強度**的需求，但發電所產生的**交流電**，須經**整流**、**降壓**過程的損耗，才能回充到電池中
- 六、透過**避震時液壓流動**所回收的**直接作用動力**，所轉換的**電力**，要比避震時**活塞連桿**，透過**壓電元件間接觸壓**所產生的電要大
- 七、將避震時的動能，因**摩擦**造成的**耗損與熱**，經轉換並回收為**電力儲存**，使原本耗損掉的動能做有效利用外，又可提高行車**安全**與騎乘的**舒適**，更有意義的是，讓原本報廢的零件經改裝重組後，有了**環保**、**安全**的全新用途
- 八、威爾斯渦輪液壓避震發電系統設計理念
 - (一)透過**發電負載**調整**避震強度**，防止路況顛簸煞車打滑翻車的危險，增加安全性
 - (二)利用**避震時機發電**，不影響騎乘時腳踩的**動力**，增加騎乘**舒適性**
 - (三)透過**液壓流動發電**，不僅**動能大**、**電力集中**，短時間就能儲存足夠的電
 - (四)利用**避震阻尼**吸收**動能轉換電力**的設計，比傳統**動能轉換熱能**散掉的要環保
 - (五)以**套件**的方式替換同規格避震器，不須更改車子的原設計結構
- 九、研究發現的重要性
 - (一)利用腳踏車動力發電的產品很多，但從未看到有利用回收**避震液壓流動**的動力發電的相同概念，經查資料後證實是我們**獨創**的設計

(二)利用實驗發現證明**流體的密度與黏滯性**，會對**渦輪運轉**產生交互作用，進而還能將最佳化運轉原則，彈性應用到不同規格的材料上

(三)從設計製作中，學到**改裝的技巧**與自行探索出更多、更新的發現

十、未來發展

(一)現有避震發電系統，受限改裝零件與材料，難以縮小體積，希望能找出更小、精密又堅固的現成零件來廢物利用，並以最佳化原則，設計並製作出精巧的避震發電裝置

(二)思考腳踏車其他消耗動能，轉換電力回存的設計，例如煞車發電、車行風阻發電等各種環保發電的設計

心得與感想

經過這些實驗，讓我們了解許多關於威爾斯渦輪的基本概念。運用最新的科技-3D 印表機來精密的做出威爾斯渦輪，再和避震器結合，設計出避震器發電器，讓我們可以更充分的利用能源，達到環保的目的。

我們利用威爾斯渦輪的阻推比來使其可以按相同的方向旋轉，加上改變通氣量、葉片數、內徑、厚度.....等變向，找出其中的交互作用，製做出轉速最快的渦輪。另外還有一個發現，就是在水中所測量的結果竟和在空氣中測量的結果有很大的不同呢！

參考資料

林晉德、蔡侑霖、林詠然(2007)：樂活腳踏車安全照明之研究。中華民國第 47 屆中小學科學展覽會。

阮澄芳、陳宸、林芷仔、高璿翔(2010)：MIT 一號-腳踏車發電照明之研究。中華民國第 50 屆中小學科學展覽會。

李宛倫、徐子涵、吳穎婕(2011)：音效卡計時器及其應用。2011 年臺灣國際科學展覽會。

許凱能、蔣士朋、李丞祥(2012)：轉轉波能。中華民國第 52 屆中小學科學展覽會。

【評語】 030117

本作品極具應用性，未來可行性高。如果持續改進，或有重要突破。

但同時應對相關文獻多做背景探索，才不會重複前人研究，並可借鏡前人參見。