

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 工程學科(二)科

第一名

052404

綠能舒適樂活遊

-威爾斯渦輪與避震發電的完美組合

學校名稱：臺北市立第一女子高級中學

作者： 高一 陳品頤	指導老師： 張清俊 羅文杰
---------------	---------------------

關鍵詞：威爾斯渦輪、避震器、發電機

得獎感言

科學羽翼、展翅翱翔

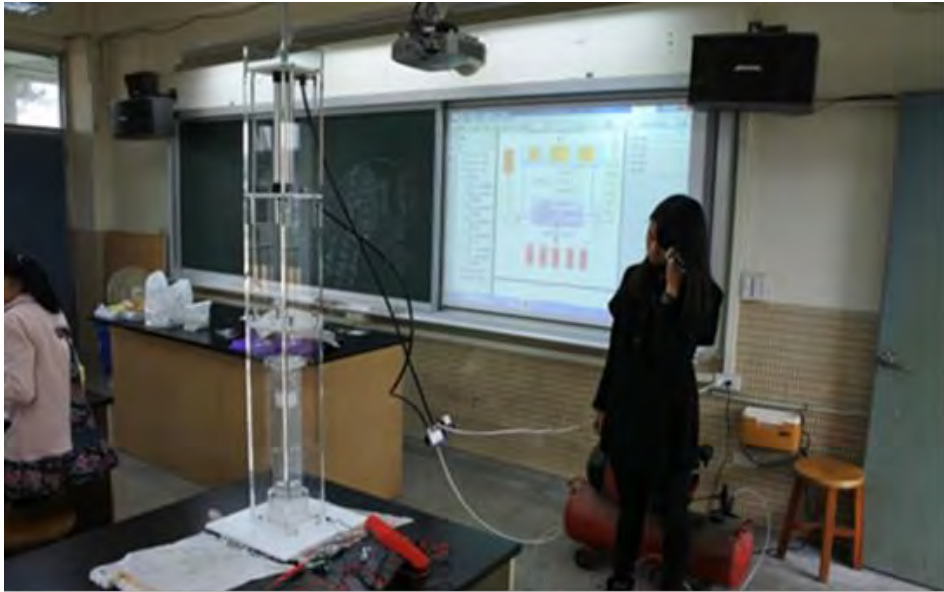
猶記小學六年級時，天母國小的羅文杰老師是我接觸科展的啟蒙恩師，自此引領我走入科學探索與實作的旅程。完成一件科展作品所需要的，不光是對生活細節或科學理論的好奇心，也需要自信、流暢的表達作品的價值與內涵，彙整許多不同能力相輔相成才能成就一件作品，過程充滿挑戰，而達成後身心靈則能被成就感充盈；這是從小到大科展帶給我的喜悅與鼓舞，也是我能持之以恆，一次次在科展之路往前邁進的動力。

一件科展作品最困難不外乎兩個部分：從無到有的發想創新，以及在完整作品上更進一步的全新思維。我很幸運能接續學長姐針對威爾斯渦輪的研究，三年的時光中我得以改良出第二代、第三代、第四代的結果，今年也囊獲全國第一的殊榮，孜孜不倦的努力終於獲得肯定的回報。

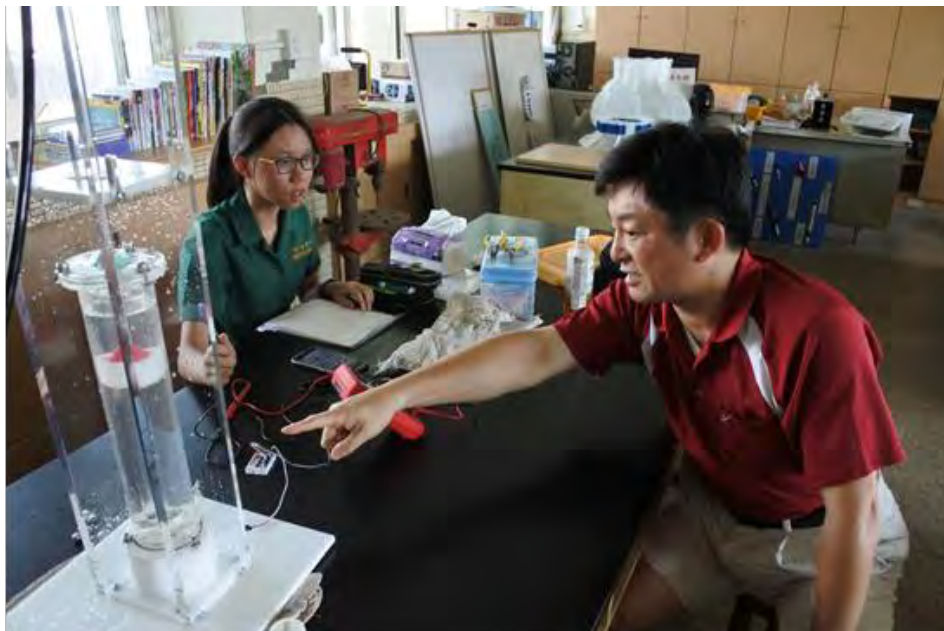
概述「威爾斯渦輪與避震發電的完美結合」這件作品，今年我重新設計了器材，幾乎翻新了整組系統，指導老師也為此多次往返工廠，讓我能透過簡單的器材達到相同效果。而其中也有一些艱辛，在北市科展交件前一週，我隨學校團隊遠赴澳洲參加機器人大賽，當時一邊比賽一邊利用賽暇趕製科展的作品說明書，因為時差的關係，差點錯過送件時間，幸好最後即時順利的交出成果，事後回想，這也是一次心驚膽跳但值得玩味的經驗呢！

這次我的作品能夠獲得評審的肯定，首先我要感謝啟蒙我的恩師羅文杰老師，是羅老師把我帶進科展的殿堂，也謝謝他經年累月的指導；也要感謝臺北市立大學的陳億成教授在賽前給予我的專業建議，以及在賽前訓練我的麗山高中徐志成老師、內湖高中陳昭安老師，謝謝師長們的指導，讓我的作品能夠更加完整、更能符合實用的目標，也因為師長們的專業，讓我在比賽當下，能更得心應手、無所畏懼的回應評審的提問。還要感謝一路無條件支持我的父母，謝謝他們讓我能夠將自己熱愛的科展之路發揚光大；謝謝我的學校北一女中，設備組的詹莉芬組長總是穩健妥適的為我處理其中細瑣棘手的手續，謝謝組長不辭辛苦的斡旋，讓我的作品得以在全國科展的舞台上綻放光彩；也謝謝在我成長過程中所有的理化老師，讓我具備更完備、嚴謹的理論基礎。另外還要感謝台北市政府、教育局、中正高中、石牌國中主辦單位，讓這一次的科展如此精彩、如此富有教育意義與價值。

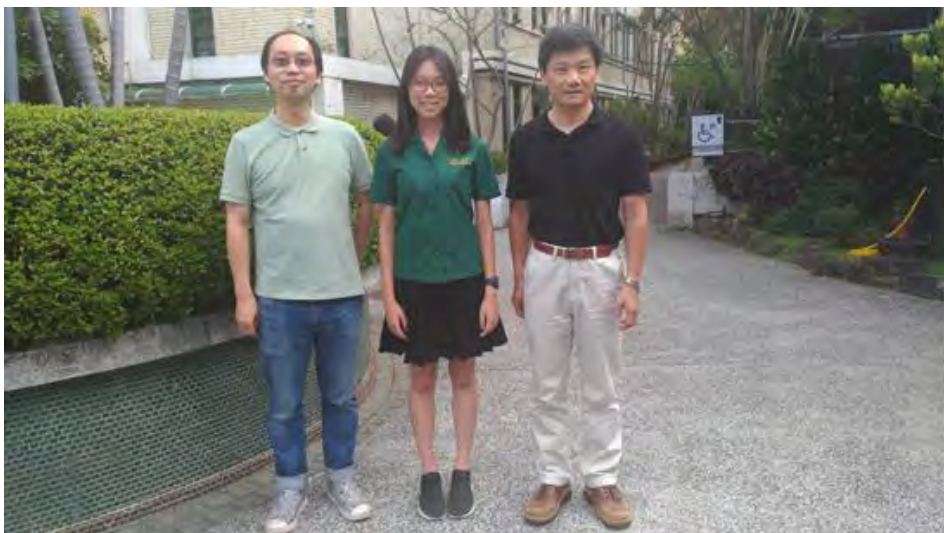
常常聽到人們用充滿歡笑與淚水來形容科展的研究旅途，但對我而言，一路走來只有歡笑與汗水，更幸運的是我付出的努力能夠收割出豐碩的成果。這次的科展能得到全國第一的好成績真的很感動，從今往後我會繼續在科學領域鑽研，期待自己能闖蕩出一片屬於自己，能用科學羽翼盡情展翅翱翔的天空。



液壓避震器渦輪運轉與發電效能實驗



臺北市立大學 陳億成教授 指導關鍵的改良建議



與指導老師張清俊老師(左一)、羅文杰老師(右一)合影

摘 要

為了尋找環保能源，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，成為複筒式液壓避震發電器，並就現有的基礎加以改良，有了新的發現：

- 1.控制適宜的扇葉盤外徑、葉片數量、葉面阻推點、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，可以有效提高渦輪轉動的連續性

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。可說是小兵立大功，解決能源問題，更帶來舒適與安全。

壹、研究動機

在參觀 52 屆科學展覽會時，看見一件利用威爾斯渦輪進行潮汐發電的模型。發現無論風來向為何，扇葉旋轉方向依舊不受影響。上網查資料後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。

此時不禁聯想：一般的煞車發電，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，若能直接利用液壓避震器中反覆回流的液體，讓渦輪轉動發電，不僅舒適安全的避震，且可回收動能發電，一舉數得，非常實用。

為了更加精進學長姐的作品，我們決定針對先前的實驗加以改良，使實驗操作與數據的紀錄更加準確。期使威爾斯渦輪在液壓避震器中的應用更加廣泛。

貳、研究目的

- 一、歸納威爾斯渦輪各運轉變項間的相互影響。
- 二、提升液壓避震器之發電效能。
- 三、設計可調控各種震動變項的擬真裝置。
- 四、實測各震動變項中威爾斯渦輪發電的實測效能。

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)底座、(三)活塞連桿、(四)動力連桿、(五)整流電路板、(六)發電機(5W)、
(七)水中優化威爾斯渦輪扇葉(4 組)、(八)壓克力支架

三、動力控制組


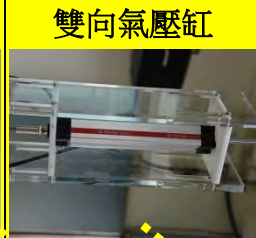




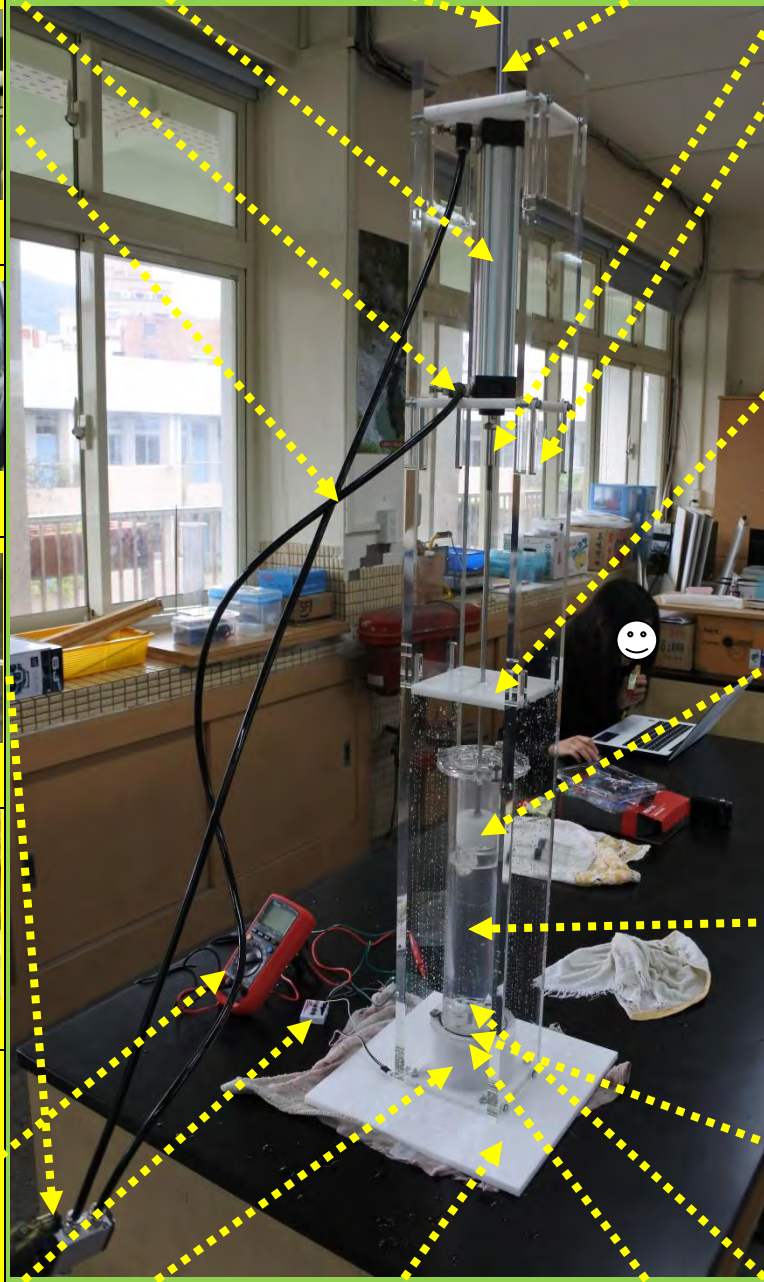


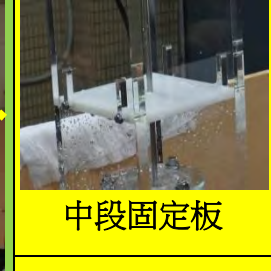

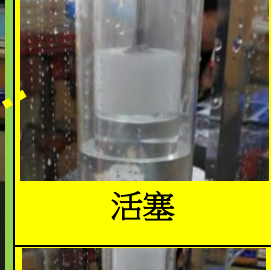

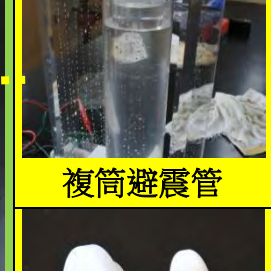




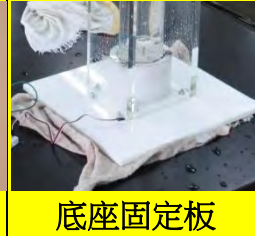


(一)雙向氣壓缸 (二)空氣壓縮機(4P)(三)電磁閥(四)高壓管(五)微動開關

四、實驗儀器：

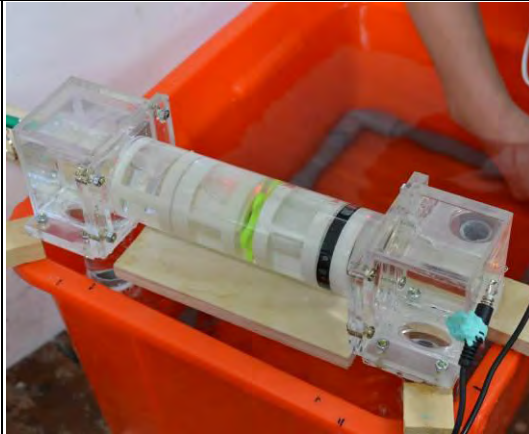




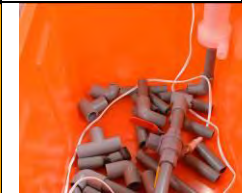

(一)Arduino Nano、(二)影像分析軟體：Tracker 4.84、(三)紀錄平台：筆記型電腦

五、威爾斯渦輪實驗器材設計歷程：

(一)第三代複筒式液壓避震實驗組

 <p>可調速快速接頭</p>	 <p>雙向氣壓缸</p>	 <p>汽缸行程調整環</p>	 <p>氣壓缸動力連桿</p>	 <p>動力桿傳動接頭</p>			
 <p>高壓管</p>				 <p>側邊固定板</p>			
 <p>微動開關</p>				 <p>中段固定板</p>			
 <p>電磁閥</p>				 <p>活塞</p>			
 <p>空氣壓力機</p>				 <p>複筒避震管</p>			
 <p>三用電表</p>				 <p>動力連桿組</p>			
 <p>整流器三相轉直流</p>				 <p>三相電發電機(5W)</p>	 <p>底座固定板</p>	 <p>渦輪避震底座</p>	 <p>威爾斯渦輪葉片</p>




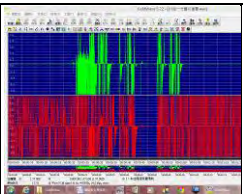
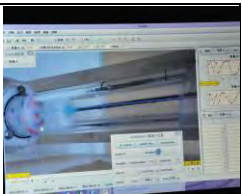
(二)威爾斯渦輪水流實驗組

第一代 渦輪 實驗 組				
	單向水流實驗組	渦輪測試槽	渦輪測試管路	水流整流器
				
	水流循環系統	PVC 管	實驗水槽	

(三)威爾斯渦輪複筒液壓避震實驗組






第二代 渦輪 實驗 組				
	雙向水流實驗組	複筒避震管	避震底座	電路控制組
				
	直流馬達	避震彈簧組	動力連桿組	

(四)實驗儀器

儀器					
	雷射筆	光敏電阻接頭	轉速計操作	GoldWave 5.06	Tracker 4.84
	自製音效卡轉速計			錄音軟體	影像分析軟體

(四)實驗物件

1.威爾斯渦輪水中最佳化扇葉

最佳化 渦輪 變項					
	水中原型	四葉低通氣比	五葉低通氣比	四葉中通氣比	五葉中通氣比

肆、研究過程與方法

一、文獻分析：從參考 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**，故而利用**3D 印表機**印出渦輪試試在水中轉動的效果。

二、相關研究發現：

(一)第一階段實驗發現：為了解渦輪在水中運轉的效能，於是以**氣體**最佳化威爾斯渦輪的規格為標準：根據試算的公式訂出：在**通氣比 50%**原則下，決定 **a-扇葉外徑(5cm)**、**b-扇葉盤外徑(2.5cm)**、**c-葉片型式(長型)**、**d-葉片數(5 片)**、**e-厚長比(1：5)**、**f-阻推比(1：4)**、**g-翼展(1.25cm)**、**h-翼長(1.18cm)**等規格，並進行各種渦輪扇葉變項的實驗。

1.具體發現

(1)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**影響

(2)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

(3)利用優化變項的水中威爾斯渦輪可以利用來設計液壓避震器

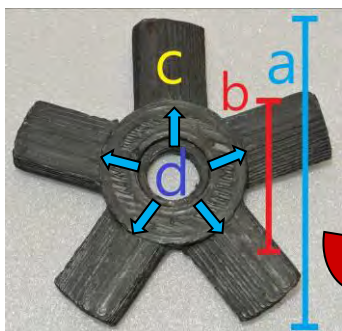
2.研究限制

(1)水流管路只能操控單向，不能快速改變雙向水流頻率，以致無法測出渦輪對水流改變的反應

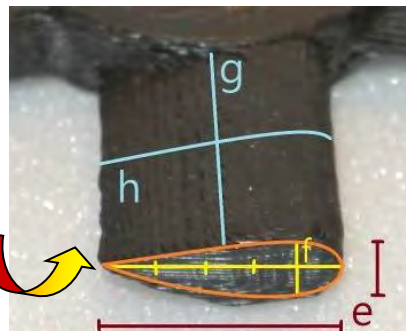
(2)利用音效卡改裝來測渦輪轉速，容易受到干擾且誤差大



第一代避震器



威爾斯渦輪外觀

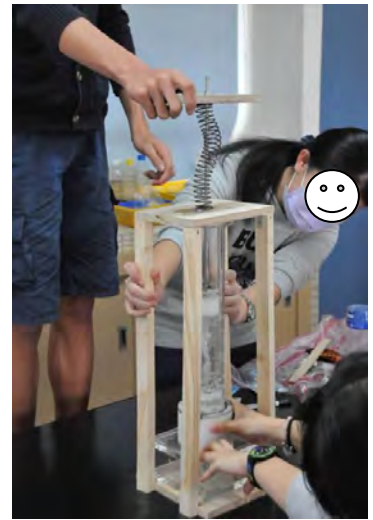


定義威爾斯渦輪規格



水中威爾斯渦輪

(二)第二階段實驗發現：主要是利用複筒避震器的設計來控制雙向水流的頻率，同時也實現威爾斯渦輪避震發電的實體應用。透過避震器，進行操控避震器震動頻幅：高頻高幅、高頻低幅、低頻高幅、低頻低幅等變項的實驗



第二代避震器

1.器材改良

(1)提高複筒避震器發電效能：將避震器底座沉水馬達移除，改用 9V 的馬達作為發電機，並改裝底座，將馬達與渦輪透過磁力以非接觸的方式連動，以達到完全水密的效果

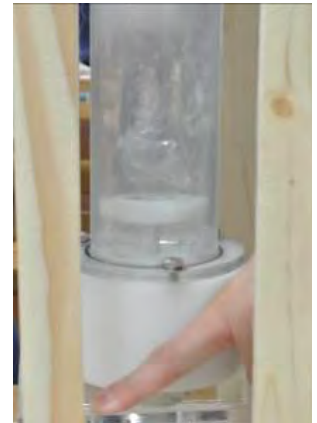
(2)擬真的阻尼：利用彈簧的與複筒內、外管間往復水流所產生的阻尼，模擬避震器的運作，用以得到最真實的渦輪反應

(3)改進影像分析的工具：

- a.以錄影方式記錄渦輪與活塞的移動變化
- b.透過軟體 Tracker 4.84 將影片中的光點移動數值化，提供磁力震盪分析的數據



往復水流(活塞上)



往復水流(活塞下)

2.具體發現

- (1)提高**流速**可有效提昇發電效能，水流幅度 **20~30cm**、**30~45 次/分**頻率，可達 **0.51~3.12W**
- (2)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
- (3)**避震液壓流動**回收**直接作用動力**所轉換的**電力**，比透過**壓電元件間接觸壓**的電要大
- (4)將避震時的動能，因**摩擦**造成的**耗損與熱**，可轉換並回收為**電力儲存**



磁力非接觸方式帶動連桿



避震底座水密設計



組裝避震器支撐架

3.研究限制

- (1)利用手壓帶動避震器的活塞連桿，不易精確控制的活塞行程與頻率。
- (2)以馬達進行實驗，雖發電有達 9V，但馬達設計並非用來發電，發電量依舊偏低。
- (3)透過磁力連接渦輪與馬達之間的連桿，當渦輪轉速較快或阻尼較大時，常會造成連桿空轉，無法連動發電機來發電。

(三)第三階段實驗設計：

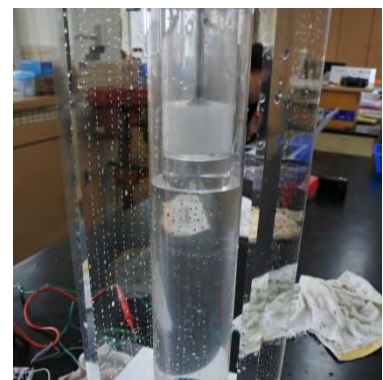
為了改進第二代液壓避震發電器的缺失，我們將手壓操作部分由氣壓缸與電磁閥取代，配合 Arduino 即時監控並記錄數據。如此一來，不僅頻率與幅度可以達到定量，減少誤差，數值的紀錄也能更加精準。

1.實驗器材改良

- (1)**改換 5W 的高效能發電機**：之前由於以馬達代替發電機，常造成發電量不足且轉動時的阻力也較小，即使渦輪轉得再快，發電量依舊偏低，所以便改換成 5W 的高效能發電機，測試時，雖然轉速較慢，但發電量卻能大幅提高。加上先前擔心發電機扭力過大，渦輪無法在人工施壓的情況下被帶動而順利運轉，故而使用馬達作為帶動發電的媒介。現今因使用氣壓缸與壓縮機，其功率較大，能有效帶動渦輪旋轉，故而改用發電機，提升發電之效率。
- (2)**減少避震器底座水密隔間厚度**：原設計將發電機與渦輪以強力磁鐵連接，兩者並未直接接觸，可減少發電機之耗損，達到低成本且有效的水密效果。另外，為了使運行中的流體更加單純(僅有水而非含有空氣)，將先前僅添加至複筒半滿處的水加至全滿，並在上方以矽膠封起。再加上避震器底座發電機室的水密隔間，厚度由 0.3cm 減少到 0.2cm，以有效增加渦輪與馬達兩個連桿之間的磁吸力，以降低因發電機阻尼過大造成渦輪帶動時產生空轉的現象。



第三階段實驗器材



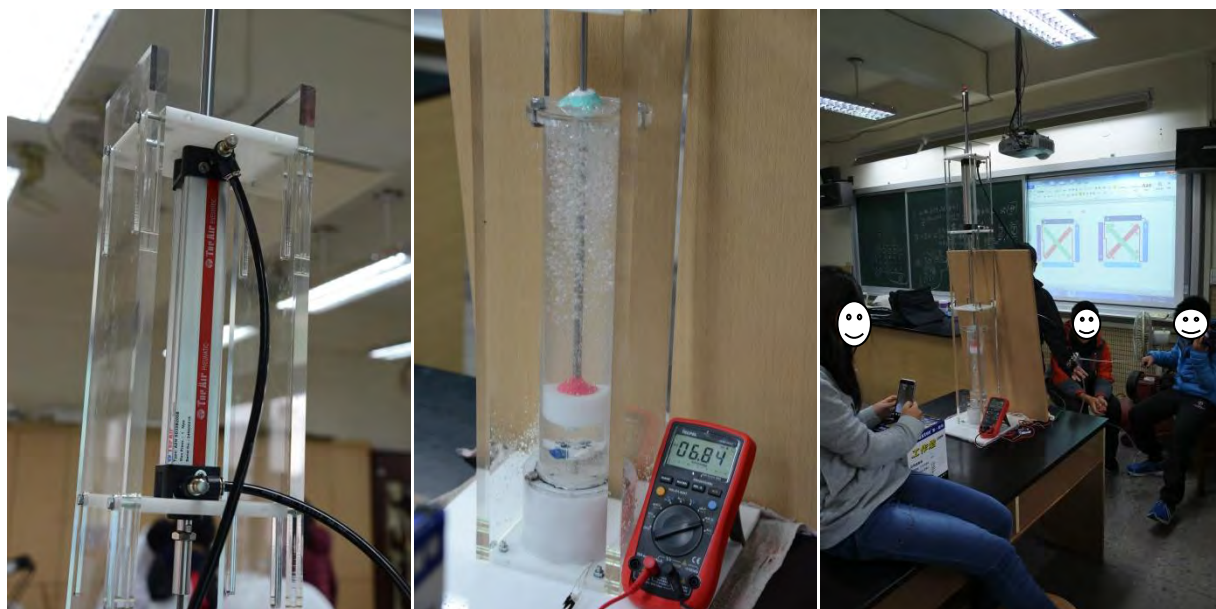
- (3)**定量的震動源**：為了解震動的頻率與幅度對避震器發電的影響，因此將震動源的動力來源，以氣壓缸的動力來代替，為了控制氣壓缸動力連桿伸縮的頻率與幅度，因此便要整合：空氣壓縮機、磁閥開關、微動開關與高壓管等零件。
- (4)**實驗操控**：改以電磁閥與氣壓缸操作，並以 Arduino 控制，確保其頻率與幅度穩定，且可根據實驗需求彈性調整。
- (5)**數據記錄**：之前以三用電表連接馬達觀測並記錄，但有不夠即時(一個數據/一秒鐘)、數據難以記錄等缺失。改用 Arduino 配合程式，可根據需求調整數據紀錄的時間間隔，更加即時的記錄電壓與電流。
- (6)**分析軟體**：透過 Tracker 4.84 將影片中的光點移動數值化，提供分析的數據。



微動開關控制磁閥開關切換氣壓缸動力連桿升降的頻率

避震器實驗錄影記錄

2. 複筒避震器材：雙向水流避震發電效能測試實驗



高壓管控制氣壓缸運作

往復水流推動渦輪運轉發電

記錄渦輪運轉發電



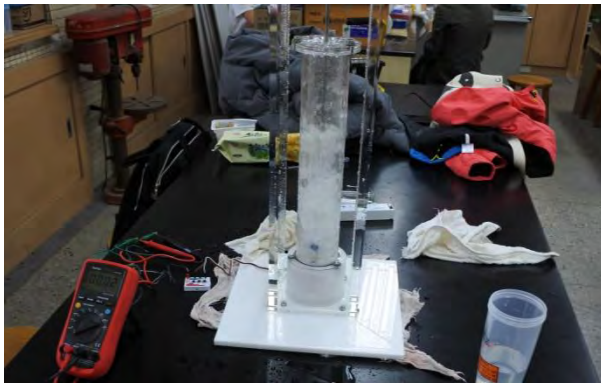
組裝複筒避震器材



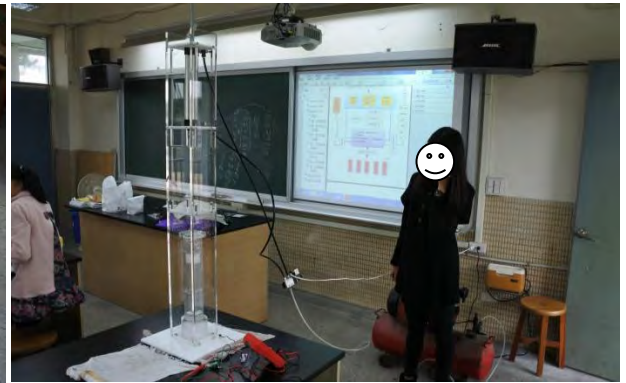
組裝複筒避震器材



組裝複筒避震器材



複筒避震器避震發電效能測試



避震發電實際測試

三、變項操縱與控制：

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，以水中優化的渦輪規格進行實驗，同時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。



(一)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。

操作：以第一階段實驗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。



(二)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。

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 60、80、100、120(次/分)與幅度 15、20cm 組合：低頻低幅、低頻高幅、高頻低幅、高頻高幅的水流，並記錄扇葉發電的效果。



(三)相同水流往復幅度不同頻率對渦輪運轉的影響：

思考：比較頻率對渦輪轉速的影響。

操作：以節拍器的節奏為參考，分別設計等頻率，在同為高幅或同為低幅的情況下，以優化的水中威爾斯渦輪，比較各種頻率組合(同上)對渦輪運轉的影響。

(四)相同水流往復頻率不同幅度對渦輪運轉的影響：

思考：比較幅度對渦輪轉速的影響。

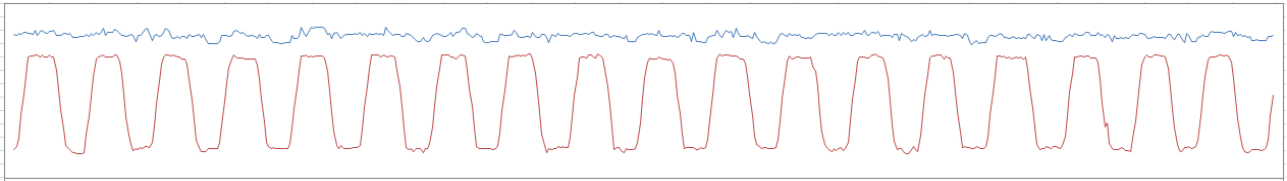
操作：以節拍器的節奏為參考，分別以 15cm、20cm 定義為高幅、低幅，在同樣的頻率(60、80、100、120 次/分鐘)的情況下，以優化的水中威爾斯渦輪，比較各種幅度組合對渦輪運轉的影響。

伍、研究結果

實驗一：由影像分析結果的圖形曲線解釋與活塞、渦輪間的運動關係

結果：

1. 活塞運動圖形曲線如下：



圖：活塞運動圖形曲線

(1) 由於活塞的往復運動是直線進行，為了分析出活塞純位移的軌跡，因此在利用 Tracker 分析時，便把 X 軸(咖啡色)方向與活塞的行進路徑重疊，如此一來，Y 軸(藍色)方向的偏移量就可以縮到最小，此時 X 軸隨時間的變動曲線就可以看出

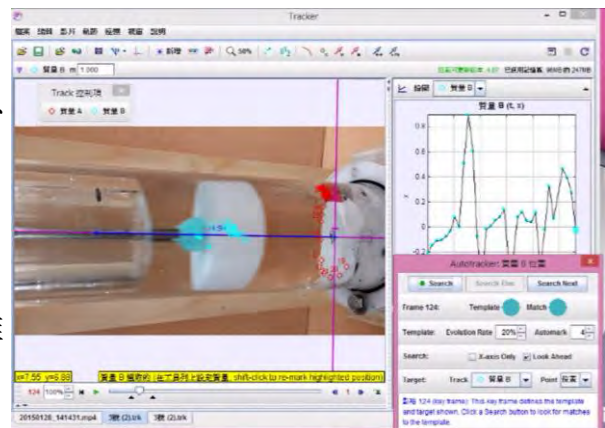
a. 往復運動路徑的幅度相當一致

b. 此活塞運動圖形屬高頻高幅：幅度 20cm、
頻率 120(次/分)

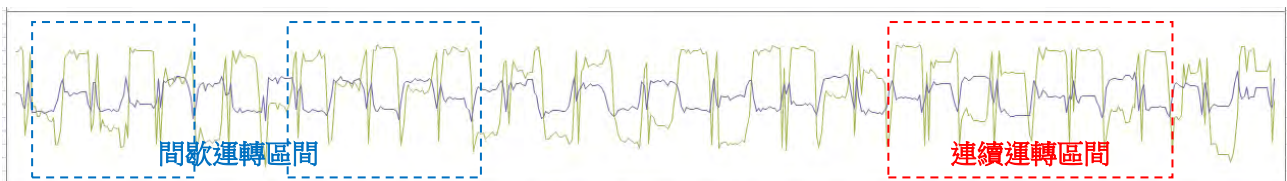
c. 由圖形起伏次數(18)，換算時間約為 9 秒

(2) 透過氣壓缸來帶動活塞連桿頻率與幅度雖然很一致，與避震時的實際情境不同，

但也因為如此，我們才能看出在某一特定幅度與頻率往復水流下，對避震器渦輪運轉的純效應



2. 渦輪運動圖形曲線解讀：



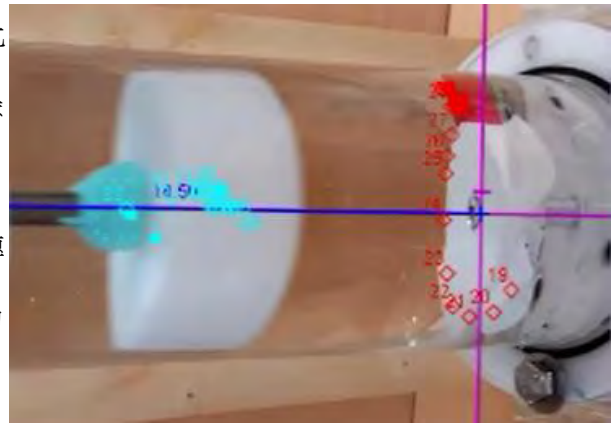
圖：渦輪運動圖形曲線

(1) 渦輪的旋轉則與活塞直線的往復運動不同，無法將 X、Y 其中一軸來對齊渦輪轉動的軌跡，由影像分析照片的軌跡(紅點)看出，軌跡可用 X、Y 軸的座標來標示，因此渦輪的轉速則要同時從 X、Y 軸座標變動趨勢的循環中看出

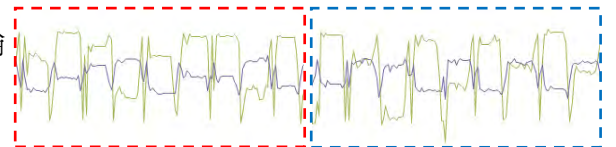
a.由藍線(X 軸)綠線(Y 軸)相互上下交錯，比對影像分析照片就能看出，每一次藍、綠線交錯，就表示渦輪轉動一圈

b.紅色的虛線框表示渦輪呈現連續穩定運轉

c.藍色的虛線框表示渦輪則呈現間歇停頓的運轉



d.X、Y 軸線交錯起伏的高度，只是代表渦輪扇葉的點位移距離，與渦輪轉速無關



(2)雖然威爾斯渦輪是專為因應往復式的水流

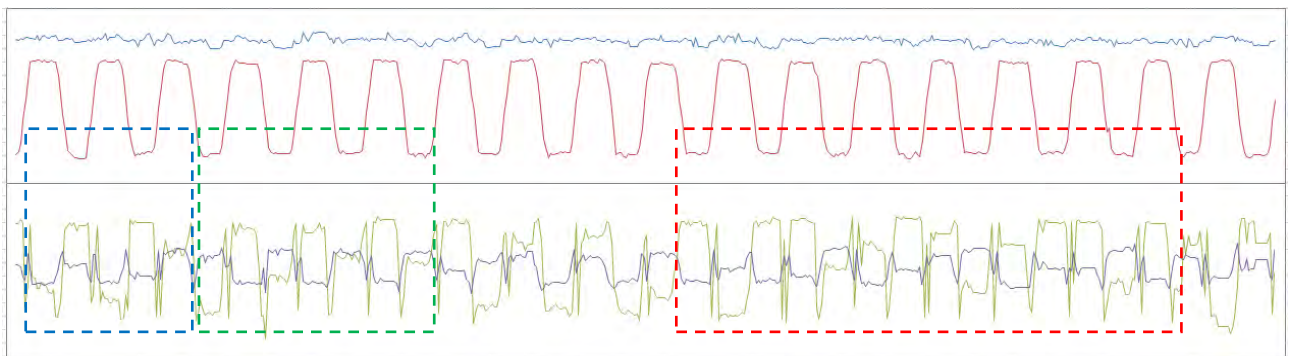
連續穩定運轉

間歇停頓運轉

所設計，但受到水流在改變流向時，也會有如同簡諧運動般的速度起伏變化，可能也因此造成渦輪無法像活塞往復運動般的接續運轉

3.活塞與渦輪運動軌跡曲線相互參照解讀：

(1)若要看出渦輪對於活塞產生往復性水流，是會產生何種形式反應的運轉，便要將活塞與渦輪的移動軌跡，對齊共同的影格時間軸與起始時間點



圖：活塞與渦輪運動圖形曲線

a.藍色的虛線框表示渦輪則呈現間歇停頓的運轉(藍色虛線框)

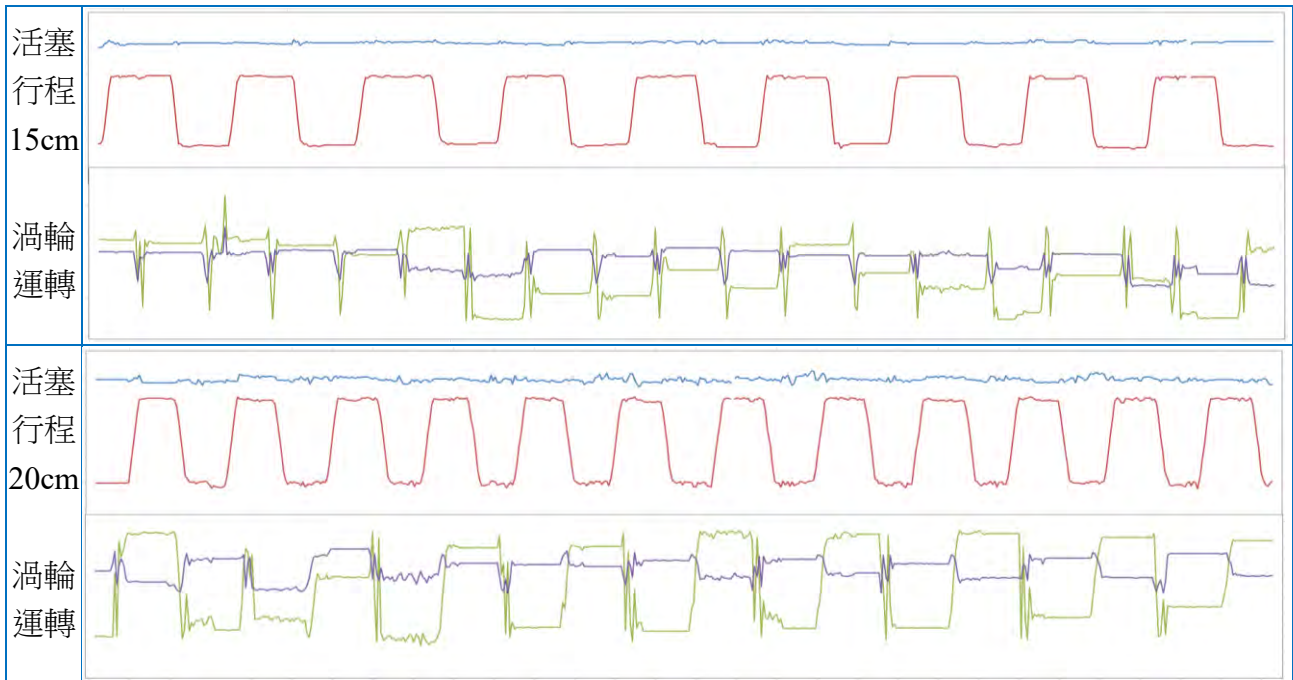
b.渦輪間歇性的轉動大多發生在活塞往下時所產生的下沖水流，但接續循環轉動一段時間後，當渦輪轉動配合往復水流時，便會有接續和間歇兩者交錯著運轉(綠色虛線框)

c.等到接續和間歇兩者交錯運轉穩定後，才會產生接續的轉動(紅色虛線框)

實驗二：相同頻率，改變往復水流的幅度，對渦輪運轉的影響

結果：

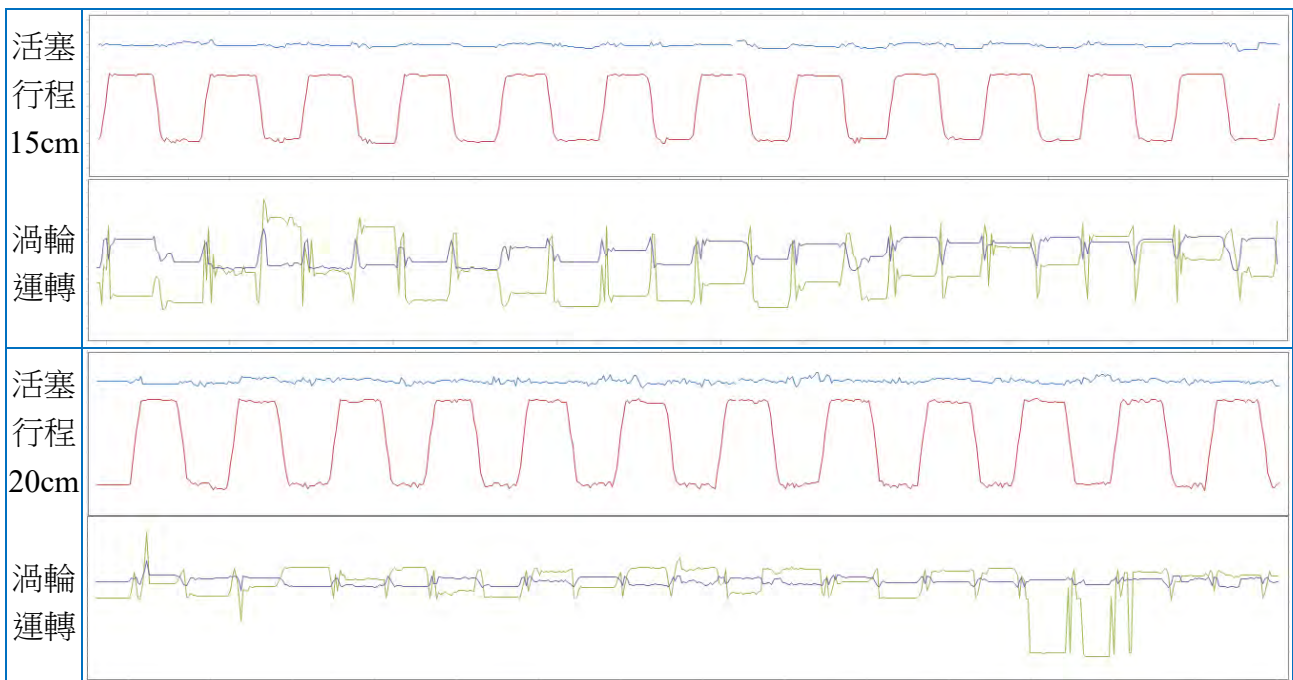
1. 頻率 60(次/分)，比較 15cm 和 20cm 的往復水流程度，對渦輪運轉的影響：



(1) 在頻率 60(次/分)，改變 15cm 和 20cm 的往復水流程度發現，20cm 活塞行程所產生的水流提供渦輪連續轉動的時間明顯比 15cm 多。

(2) 在頻率 60(次/分)情況下，增加活塞行程(15cm→20cm)，對渦輪連續轉動相當有幫助。

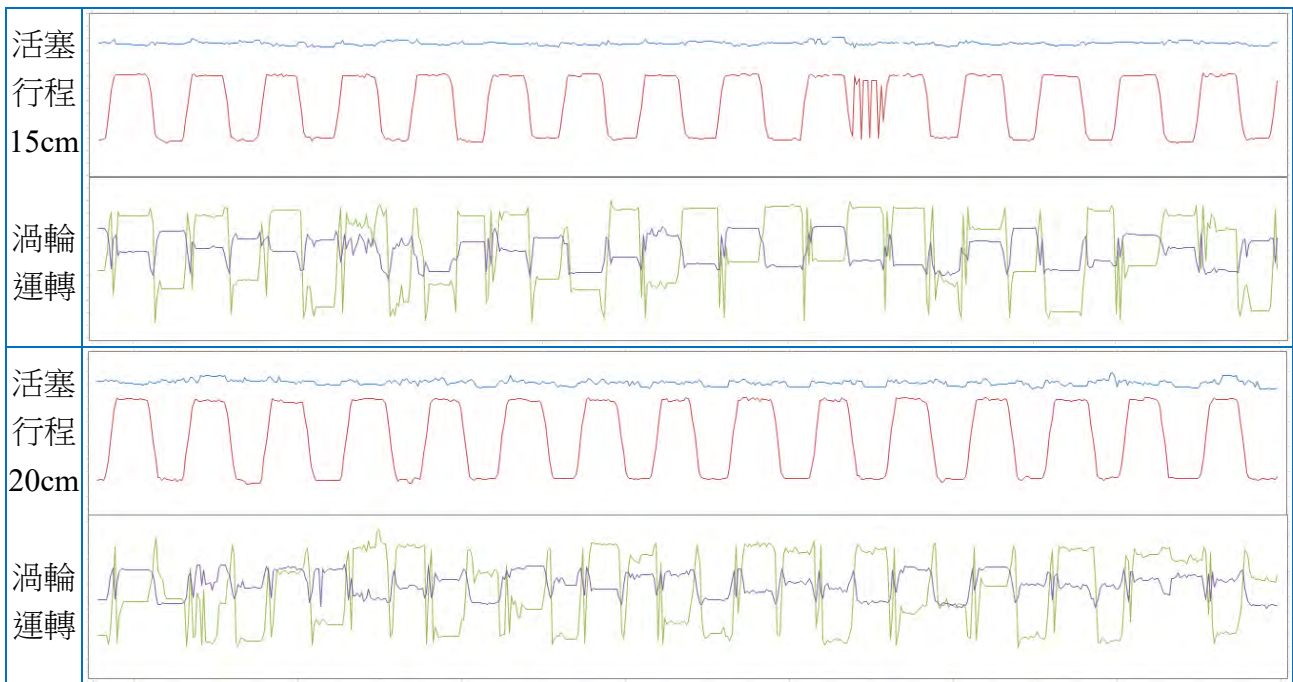
2. 頻率 80(次/分)，比較 15cm 和 20cm 的往復水流程度，對渦輪運轉的影響：



(1)在頻率 80(次/分)，改變 15cm 和 20cm 的往復水流程程幅度發現，20cm 活塞行程所產生的水流提供渦輪連續轉動的時間較 15cm 要多，同時渦輪的轉速幾乎與活塞的頻率一致，也就是說一個行程可以提供渦輪一次的轉動。

(2)在 15cm 的活塞行程下，一開始渦輪會有部分間歇轉動。

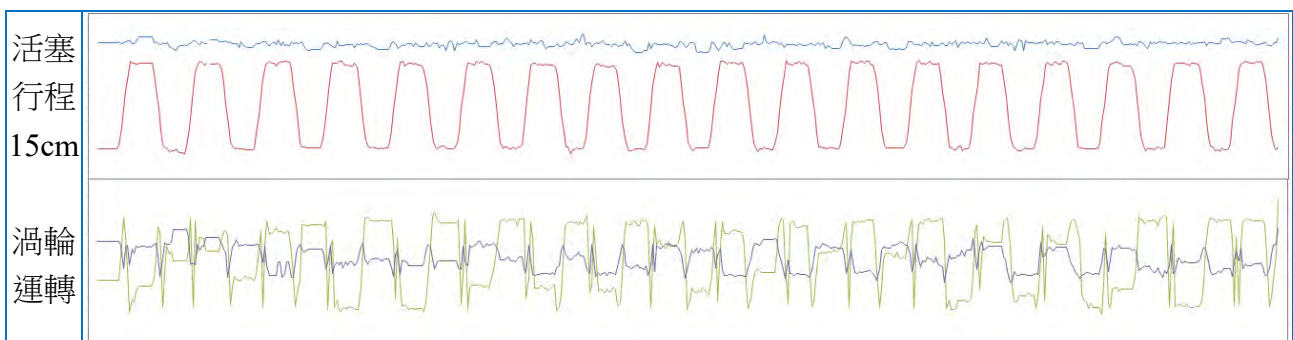
3.頻率 100(次/分)，比較 15cm 和 20cm 的往復水流程程幅度，對渦輪運轉的影響：

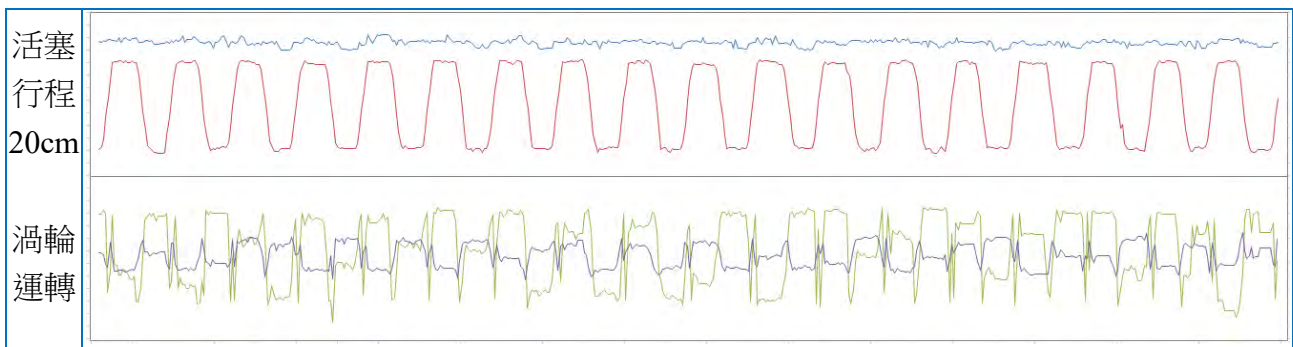


(1)在頻率 100(次/分)，改變 15cm 和 20cm 的往復水流程程幅度發現，兩個活塞行程所產生的水流都能提供渦輪連續轉動，同樣的，渦輪的轉速幾乎與活塞的頻率一致，也就是說一個行程可以提供渦輪一次的轉動。

(2)在 100(次/分)的往復水流頻率下，已經可以提供渦輪轉動。

4.頻率 120(次/分)，比較 15cm 和 20cm 的往復水流程程幅度，對渦輪運轉的影響：



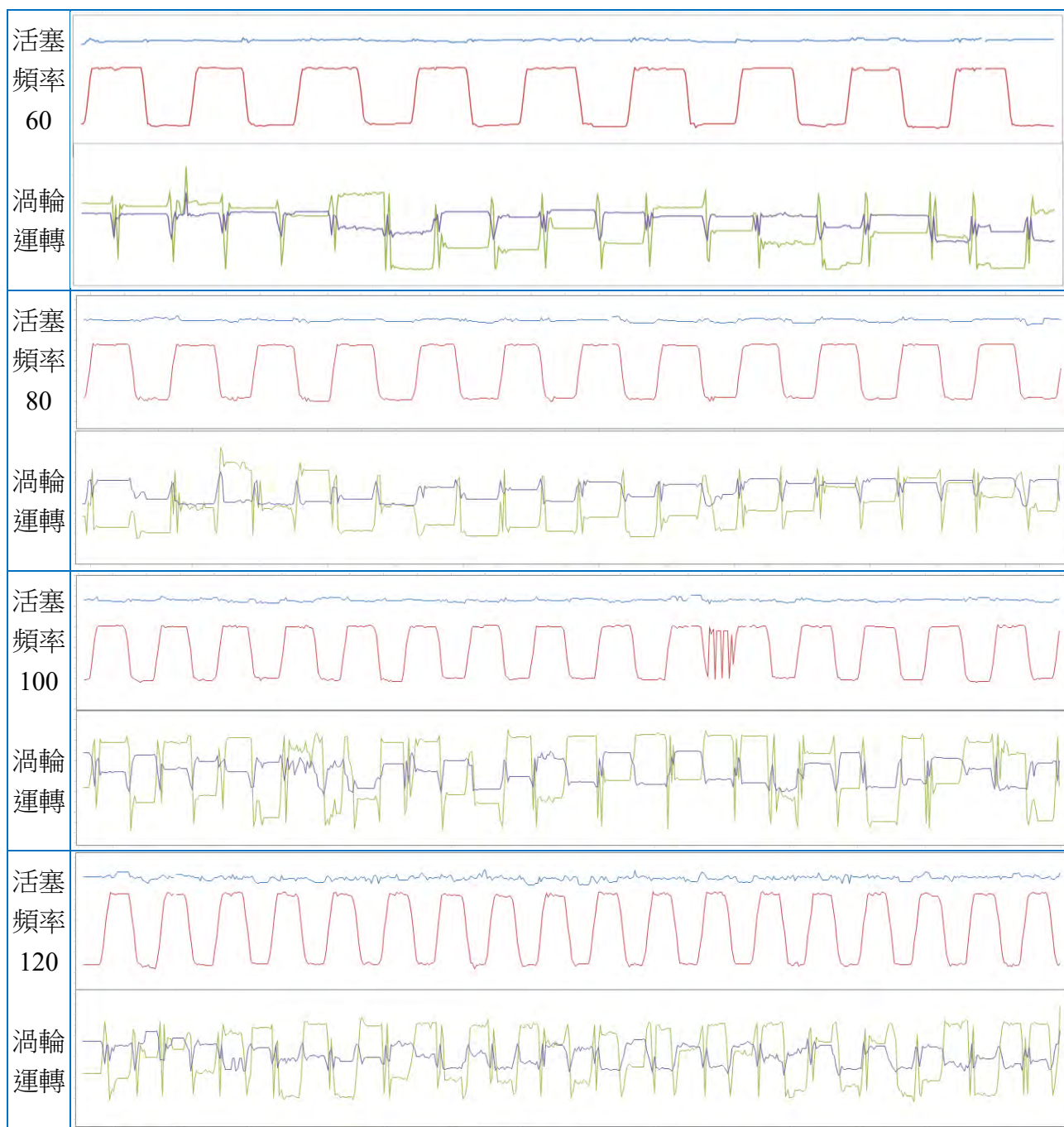


- (1)在頻率 120(次/分)，改變 15cm 和 20cm 的往復水流程度發現，兩個活塞行程所產生的水流都能提供渦輪連續轉動，但不同的是 15cm 行程所產生的水流提供渦輪連續轉動的時間似乎比 20cm 行程要穩定。
- (2)在 100(次/分)的往復水流頻率下，渦輪轉動受限發電機本身在產生感應電流時的阻抗，這阻抗會連動到渦輪，讓渦輪產生一個轉動頻率，當往復水流的頻率和渦輪與發電機共構的頻率相符時(類似共振)，渦輪轉動就會比較穩定，反之，若兩者頻率不一致時，轉動就會相互抵銷，造成動能無法接續由活塞透過水流帶動渦輪而傳到發電機上。

實驗三：相同幅度，改變往復水流的頻率，對渦輪運轉的影響

結果：

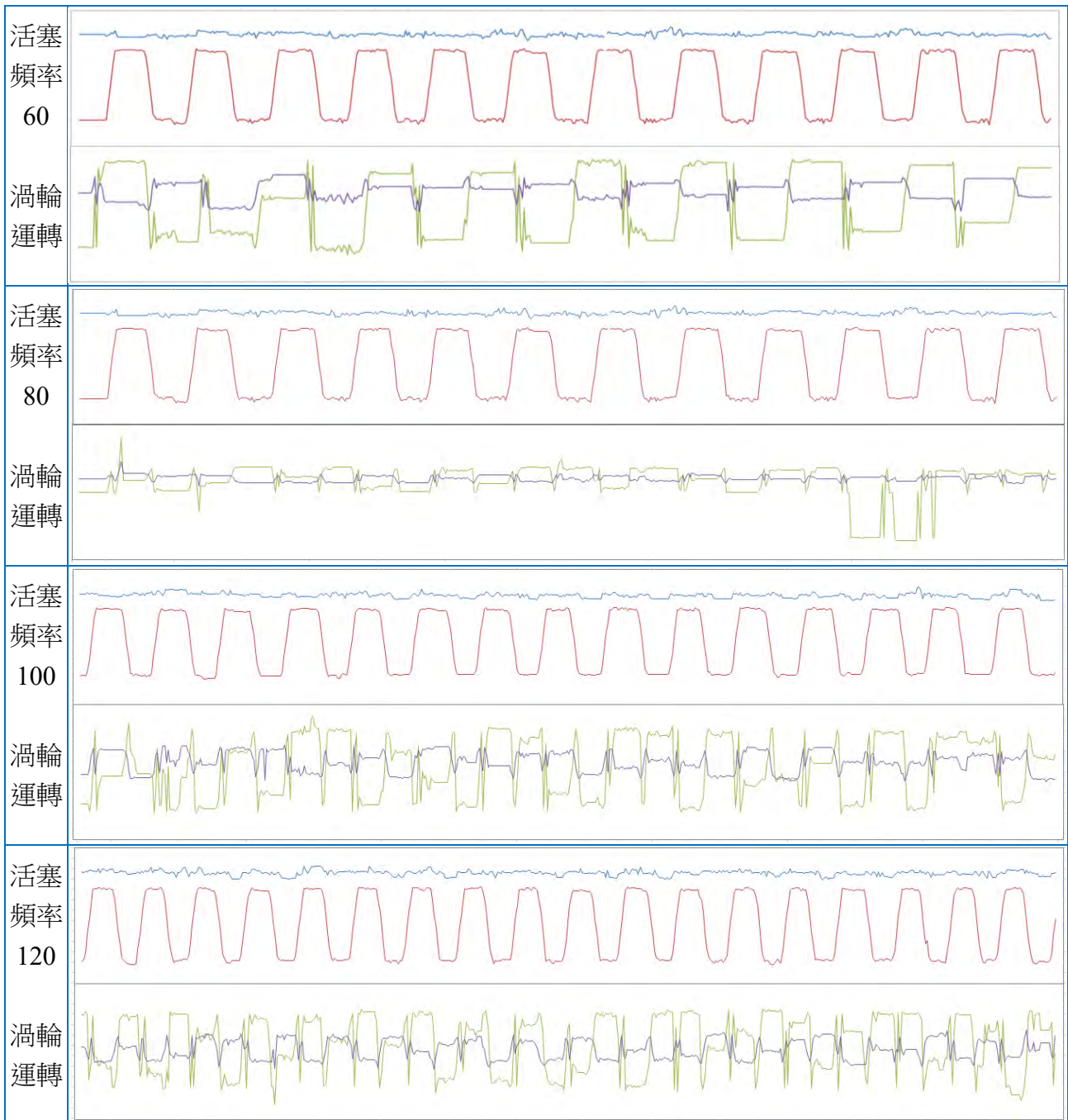
1.行程幅度 15cm，比較 60、80、100、120(次/分)的往復水流程度，對渦輪運轉影響：



(1)在往復水流程度固定 15cm，改變頻率由 60~120(次/分)的情況下發現，頻率越快，渦輪接續轉動就會越順暢，同時渦輪的轉速幾乎與活塞的頻率幾乎同步，也就是說一個行程可以提供渦輪一次的轉動，而且頻率越快，渦輪的轉速也越快。

(2)但在頻率 120(次/分)的情況下，渦輪的轉動開始出現斷斷續續的現象，加上轉動時 X、Y 軸向交叉的線不是很分明，判斷轉動時應該不是很順暢。

2.行程幅度 20cm，比較 60、80、100、120(次/分)的往復水流程程幅度，對渦輪運轉影響：



- (1)當往復水流程程幅度調高到 20cm，頻率依舊在 60~120(次/分)的情況下發現，頻率在 80(次/分)的時候，渦輪的接續轉動就很順暢，同時渦輪轉速也是與活塞頻率幾乎同步。
- (2)但在頻率 100(次/分)時，由 XY 軸向交叉的線不是很分明，判斷渦輪的轉動開始出現斷斷續續的現象，轉動時應該不是很順暢。
- (3)渦輪轉動時接續的情況，同樣也發生在活塞頻率 120(次/分)時，顯然活塞過大的行程與頻率所產生的水流，不一定能完全反應在渦輪的轉動上。

實驗四：往復水流的頻率與幅度對渦輪避震發電的影響

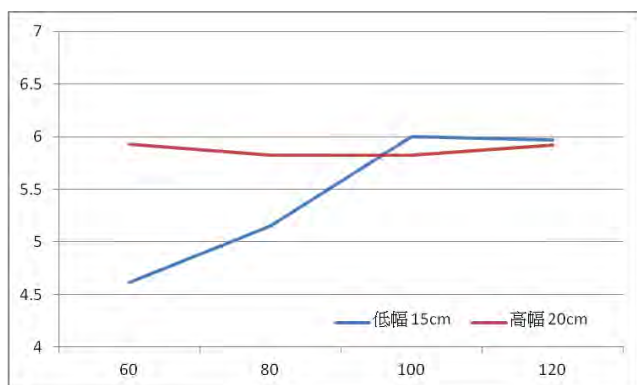
結果：

1.往復水流的頻率與幅度對渦輪避震發電的效果，如下表：

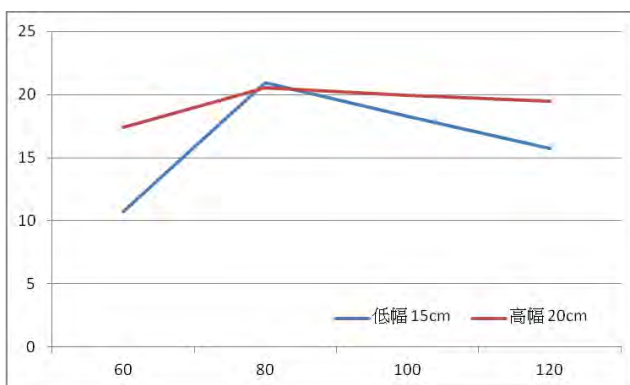
發電情形		電壓峰值(V)		電流峰值(mA)		功率峰值(mW)	
往復水流	幅度(cm)	15cm	20cm	15cm	20cm	15cm	20cm
頻 率 (次/分)	60	4.613	5.926	10.75	17.42	49.6	103.2
	80	5.148	5.824	20.94	20.52	107.8	119.5
	100	5.997	5.824	18.29	19.96	109.7	116.2
	120	5.968	5.919	15.76	19.45	94.1	115.1

2.比較幅度 15cm 和 20cm 在 60、80、100、120(次/分)的往復水流頻率下，發電的電壓發現，當頻率到達 100(次/分)時發電的電壓不會再上升，也就是說 100(次/分)已達最佳的發電頻率。

3.以上的條件再比較發電的電流發現，當頻率到達 80(次/分)時發電的電最高，綜合以上兩者判斷，80~100(次/分)是理想的發電頻率。



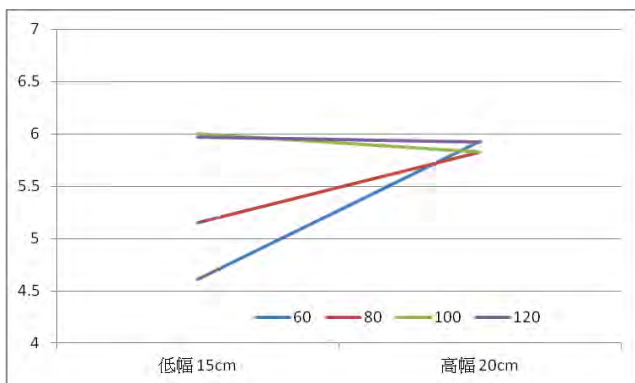
兩種幅度在不同頻率下發電的電壓



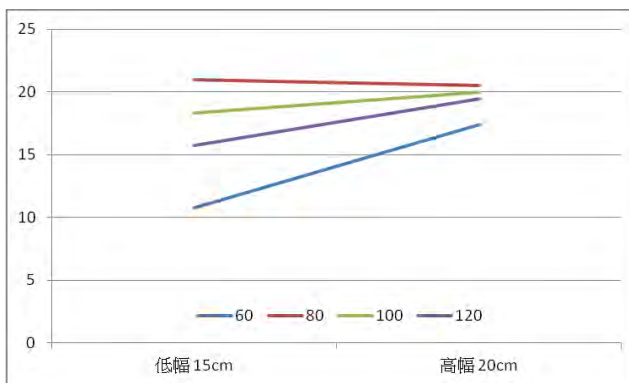
兩種幅度在不同頻率下發電的電壓

4.比較 60、80、100、120(次/分)的往復水流頻率，在幅度 15cm 和 20cm 下，發電的電壓發現，往復水流幅度對提升頻率 80(次/分)以下的發電電壓有明顯的幫助，但當頻率超過 100(次/分)時，對電壓提升的幅度就會降低。

5.以上的條件再比較發電的電流，也發現同樣的趨勢，只是隨著頻率的增加，提高往復水流的幅度不僅不會有幫助，反而會在頻率 120(次/分)時，發電的電流還會因而下降。



四種頻率在不同幅度下發電的電壓



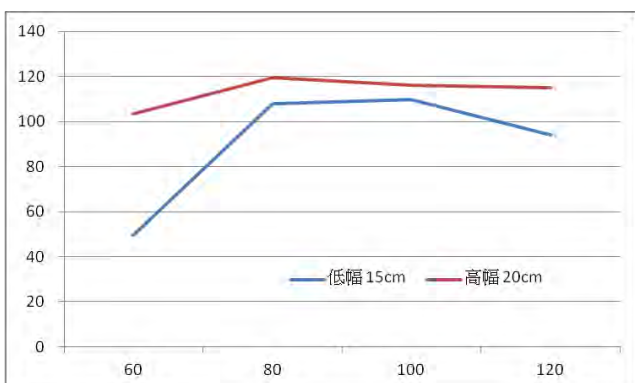
四種頻率在不同幅度下發電的電流

6.比較幅度 15cm 和 20cm 在 60、80、100、120(次/分)的往復水流頻率下，發電的功率發現，幅度對發電的功率受到頻率所影響，當頻率在 80~100(次/分)之間時影響不大，當頻率小於 80(次/分)或大於 120(次/分)時，往復水流幅度越低時，發電的功率也會降低。

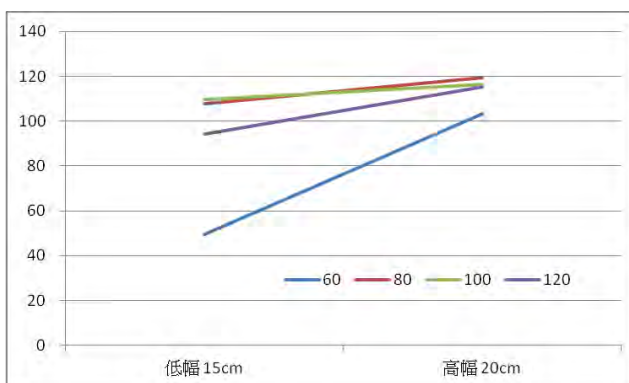
7.由以上的發現看出兩種往復水流的幅度中，頻率保持在 80~100(次/分)之間，將會有較佳的發電效果。

8.比較 60、80、100、120(次/分)的往復水流頻率，在幅度 15cm 和 20cm 下，發電的功率發現，往復水流幅度對提升頻率 60(次/分)以下的發電電壓有明顯的幫助，但當頻率超過 80(次/分)時，對電壓提升的幅度就會降低。

9.以上的條件當頻率隨著增加時，100~120(次/分)發電的功率幾乎相同，也就是說，當頻率達到 100(次/分)，已經達到最佳的發電效果了，而且即使隨著頻率再增加，發電量也不會跟著提高。



兩種幅度在不同頻率下發電的功率



四種頻率在不同幅度下發電的功率

陸、討 論

討論一：測試往復水流臨界發電的頻率與幅度

避震、發電的平衡點：實驗的避震發電震幅高達 15~20cm，雖然可以達到最佳發電效率卻不符避震器設計目的，但即使在微幅震動下，透過時間的累積，依舊能達到避震發電兼顧需求，但考量未來的實用性，於是便朝測試 1.避震器發電的臨界幅度與頻率；2.導流罩提高水流速度與減少亂流，嘗試來增加避震器的發電效能：

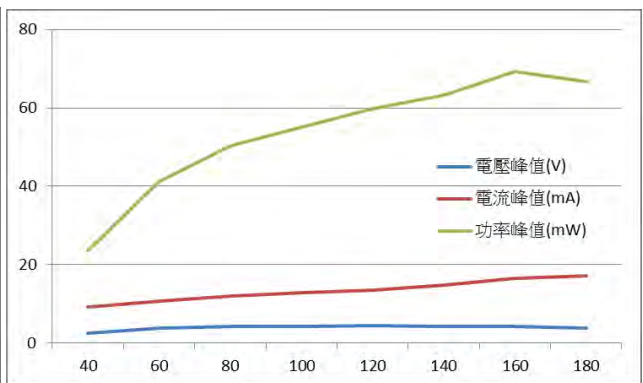
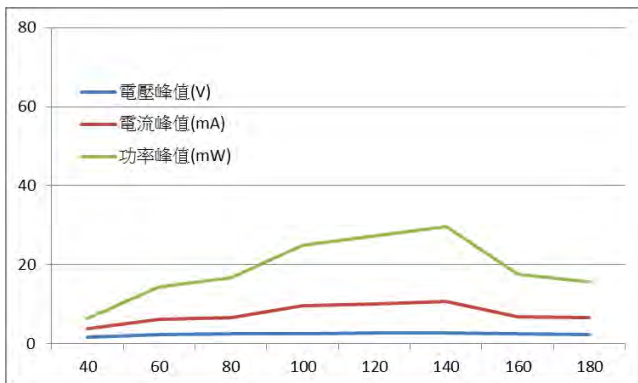
一、以實驗四所發現的理想發電頻率 80~100(次/分)為基準，分別測試 5cm、10cm 兩種往復水流幅度與 40~140(次/分)頻率範圍內的發電效果：

表：5cm 往復水流幅度的臨界頻率對渦輪避震發電的影響

往復水流頻率(次/分)		40	60	80	100	120	140	160	180
發電情形	電壓峰值(V)	1.7	2.3	2.5	2.6	2.7	2.8	2.6	2.4
	電流峰值(mA)	3.8	6.2	6.7	9.6	10.1	10.6	6.8	6.5
	功率峰值(mW)	6.5	14.3	16.8	25.0	27.3	29.7	17.7	15.6

表：10cm 往復水流幅度的臨界頻率對渦輪避震發電的影響

往復水流頻率(次/分)		40	60	80	100	120	140	160	180
發電情形	電壓峰值(V)	2.6	3.9	4.2	4.3	4.4	4.3	4.2	3.9
	電流峰值(mA)	9.1	10.6	12	12.8	13.6	14.7	16.5	17.1
	功率峰值(mW)	23.7	41.3	50.4	55.0	59.8	63.2	69.3	66.7



圖：5cm(左)、10cm(右)往復水流幅度的臨界頻率對渦輪避震發電的影響

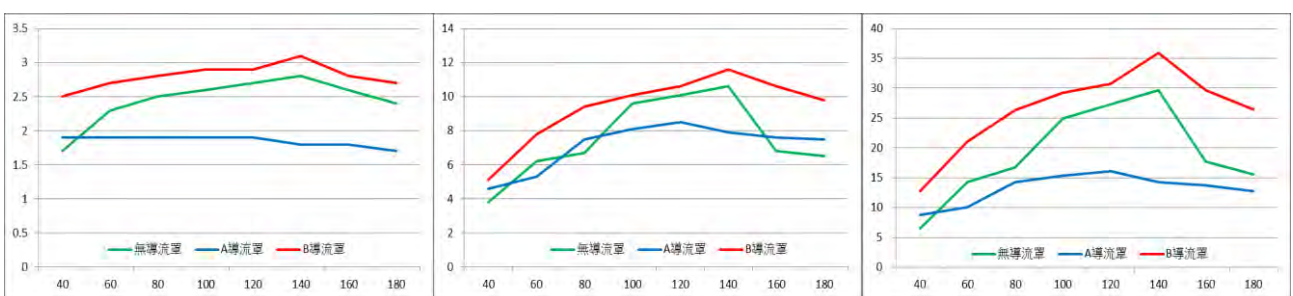
發現：

- 1.在觀察一般車用避震器的避震幅度(3cm~7cm)下，模擬測試在低幅(5cm)的往復水流下，避震器依舊能產生發電的效果(29.7mW)。
- 2.當低幅(5cm)往復水流下，最佳的發電頻率由 80~100(次/分)提高到 140。
- 3.雖然最佳發電頻率提高但即使在低頻(40 次/分)下依舊產生發電的效果(6.5mW)。
- 4.在低幅下(5cm~10cm)，提高幅度對發電的影響還是比提高頻率明顯。
- 5.提高頻率對發電效果有極限(120~160 次/分)，過高或過低的頻率都會降低發電的效果。

二、渦輪軸心加裝導流罩錐體來增加流速與減少擾流，在 5cm 往復水流的幅度下，比較兩種渦輪導流罩 A(直徑 3cm、高 3cm)、B(直徑 3cm、高 1.5cm)對提升避震發電的效果：

表：不同渦輪導流罩錐體對渦輪避震發電的效果

往復水流頻率(次/分)		40		60		80		100		120		140		160		180	
導流罩錐體		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
發電情形	電壓峰值(V)	1.9	2.5	1.9	2.7	1.9	2.8	1.9	2.9	1.9	2.9	1.8	3.1	1.8	2.8	1.7	2.7
	電流峰值(mA)	4.6	5.1	5.3	7.8	7.5	9.4	8.1	10.1	8.5	10.6	7.9	11.6	7.6	10.6	7.5	9.8
	功率峰值(mW)	8.7	12.8	10.1	21.1	14.3	26.3	15.4	29.3	16.2	30.7	14.2	36.0	13.7	29.7	12.8	26.5



在 5cm 往復水流幅度，比較各頻率對渦輪避震發電的電壓(左)、電流(中)、功率(右)的影響

發現：

- 1.在與無導流罩比較發電效果：B 導流罩>無導流罩>A 導流罩。
- 2.B 導流罩可以有效提高渦輪發電效果。
- 3.比較 A、B 型式的導流罩發現，利用導流罩來減少亂流的效果比增加水流的功能要明顯。

討論二：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：翼長 60%>翼長 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，通氣比例與渦輪轉速成反比關係
- (2)通氣比例固定下，盤面外徑與渦輪轉速成正比關係
- (3)葉片面積固定下，通氣比例與盤面外徑成反比關係

4.水流速度、渦輪葉片與通氣比例的交互作用

- (1)水流速度固定下，葉片面積與渦輪轉速成正比關係
- (2)水流速度固定下，通氣比例與渦輪轉速成反比關係
- (3)葉片面積固定下，水流速度與渦輪轉速成正比關係
- (4)通氣比例固定下，葉片面積與水流速度成反比關係

討論三：整理渦輪葉片效率的經驗公式

(一)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

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

經驗公式二：**作用水流**(We) = 水流速度 × 扇葉總面積 = 水流速度 × (扇葉面積 × 扇葉數量)

$$= \frac{L}{\pi \times (R^2 - r^2)} \times (a \times s) = \frac{L \times a \times s}{\pi \times (R^2 - r^2)}$$

經驗公式三：**扇葉運轉效能**(Oe) = 作用水流 × (翼面阻推比 × 扇葉厚長比 - 翼緣水阻)

$$= \text{作用水流} \times \left(\frac{\text{翼長推力長度}}{\text{翼長阻力長度}} \times \frac{\text{翼厚}}{\text{翼長}} - \text{翼厚} \times \text{翼展} \right)$$

$$= \frac{L \times a \times s}{\pi \times (R^2 - r^2)} \times \left(\frac{WP_d}{WB_d} \times \frac{WT}{WL} - WT \times WU \right)$$

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**

討論四：歸納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

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 $1\text{g/cm}^3 = 1000\text{kgw/m}^3$** ，**空氣 $1.29\text{g/l} = 0.00129\text{g/cm}^3 = 1.29\text{kgw/m}^3$** ，差距**775倍**；而**水的黏度 $1\text{mPa}\cdot\text{s}$** ，**空氣 $0.018\text{mPa}\cdot\text{s}$** ，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。

柒、結 論

- 一、利用歸納各種影響威爾斯渦輪運轉速度的變項，以優化渦輪，加上利用簡單簡單材料，並施以巧思與不斷嘗試，成功設計出威爾斯渦輪避震發電系統，甚至成功以 Arduino 配合，定量化精準實驗。透過實驗證明：渦輪的扇葉盤外徑、葉片數量、翼面阻推比、厚度、通氣比等各變項間會相互影響；而不同的頻率、幅度會造成渦輪有不同的運轉效率與發電功效。
- 二、發現若增加外徑、減少葉片數、增加葉片受力面積、提高翼面推力比、增加葉片厚度、減少葉片通氣比，將有效提升渦輪運轉效率與發電功效，故而最終選用五個葉片、外徑 4.5(cm)、扇葉盤外徑 3(cm)、阻推比 2/10、厚度 0.98、翼寬 1.64(cm)、翼展長 0.75(cm)、通氣比 30%的渦輪作為實驗用渦輪。
- 三、根據實驗發現因為氣壓系統提供足夠的力，發電機能更貼切的紀錄渦輪的發電功效。故而在一定限度內，當幅度越高、頻率越快，渦輪的運轉效果越佳，發電效率亦較佳。最佳組合為：雙向水流幅度 20cm、頻率 80~100(次/分)；但若活塞頻率或轉速過快、過慢，可能無法依靠強力磁鐵連動發電機，或發電效果不彰。
- 四、實驗避震發電震幅高達 15~20cm，雖然可以達到最佳發電效率卻不符避震器設計目的，雖然透過時間累積，依舊能兼顧避震與發電，但考量未來的實用性，找尋避震、發電的平衡點，成功測試出避震器的發電臨界幅度(5cm)與頻率(40 次/分)，再加上透過導流罩有效提高水流速度與減少亂流，證明具有實用的功能。
- 五、威爾斯渦輪與避震發電系統設計理念
 - (一)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，且提高行車安全與騎乘舒適。
 - (二)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。
 - (三)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，比避震時活塞連桿透過壓電元件間接觸壓所產生的電大。證明本實驗的創新與應用可能性。
 - (四)透過發電負載調整避震強度，防只路況顛簸煞車打滑翻車的危險。
 - (五)利用避震時機發電，不影響騎乘時腳踩的動力。

(六)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。

(七)利用避震阻尼回收動能轉換電力的設計，比傳統動能轉換熱能散失來的環保。

(八)以套件的方式替換相同規格避震器，不須更改車子的原設計結構

六、今年度重大突破

(一)實驗操作：改以電磁閥與氣壓缸操作，並以 Arduino 控制，確保其頻率與幅度穩定，且可彈性調整。

(二)水密結構：

1.發電機與渦輪以強力磁鐵連接，未直接接觸，減少發電機之耗損，達到低成本且有效的水密效果。

2.為了使運行中的流體更加單純(僅有水而非含有空氣)，將先前僅添加至複筒半滿處的水加至全滿，並在上方以矽膠封起。

(三)發電效率改進：

1.設計以氣壓缸與壓縮機實驗，其功率較大，能更有效帶動渦輪旋轉。

2.將馬達改為發電機，提升發電效率。

(四)即時記錄：以 Arduino 配合程式，可根據需求調整數據紀錄的時間間隔，即時紀錄電壓與電流。

七、研究的重要性

(一)利用回收避震液壓流動的動力發電，經查詢後證實是獨創的設計。

(二)利用實驗發現證明渦輪各變項間會產生交互作用，進而將優化運轉原則，彈性應用到不同規格的材料上。

(三)從設計製作中，學到改裝的技術與自行探索出更多、更新的發現。

(四)成功定量實驗設計，大幅減少誤差，更精準得到有效的實驗數據。

八、應用與展望

(一)現有避震發電系統，受限於改裝零件與材料，難以縮小體積，希望能找出更小而精密又堅固的現成零件來廢物利用，並以優化原則，設計並製作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，如煞車發電、車行風阻發電等各種環保發電設計。

心得與感想

這次的研究在現有的基礎上加以延伸，讓我們有更多的可能性可以拓展威爾斯渦輪的應用性與精準程度，也更加了解有關威爾斯渦輪的概念。

這次的實驗成功改良前幾代避震發電系統，針對先前的小瑕疵努力加以改進，並將威爾斯渦輪的特性運用的更加廣泛，經實驗也證明能有效提升發電效率，更加完善了威爾斯渦輪在避震發電中的應用性。

進行科展時我們遭遇了一些困境，如從未接觸 Arduino；使用 tracker 時因為追蹤點在水中而難以追蹤，必須手動調正；器材太過龐大而難以搬運，必須配合實驗室時間.....但是我們一一克服，成功達到了製造第三代避震發電系統的實驗目的，是很大的突破，也給了我們成就感與喜悅。

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。

楊閔翔、簡伊晨、陳律臻(2015)：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。中華民國第 55 屆中小學科學展覽會。

【評語】 052404

本作品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，成為複筒式液壓避震發電器，並控制適宜的扇葉盤外徑、葉片數量、葉面阻推點、葉片厚度、通氣比、整流罩等，可以有效提高渦輪運轉效率。將避震時消耗掉的動能轉化為有用的電能儲存。具有創意及實用價值，後續可進行高粘滯性流體與渦輪轉動之流體固體耦合分析，提升其使用價值。

摘要

回收避震器的動能研並利用**複筒式液壓避震**的液壓往復流動所產生的動能推動威爾斯渦輪發電發現：

1. 控制渦輪外徑、葉片(數量、阻推點、厚度、通氣比)可提高運轉效率。
2. 複筒式的雙向水流，可以有效提高渦輪轉動的連續性。
3. 實測發現：將避震時消耗掉的動能轉化為有用的電能儲存，達到**舒適騎乘**與**環保無碳**的目標，不僅解決能源問題，更帶來舒適與安全。



關鍵詞：威爾斯渦輪、避震器、發電機

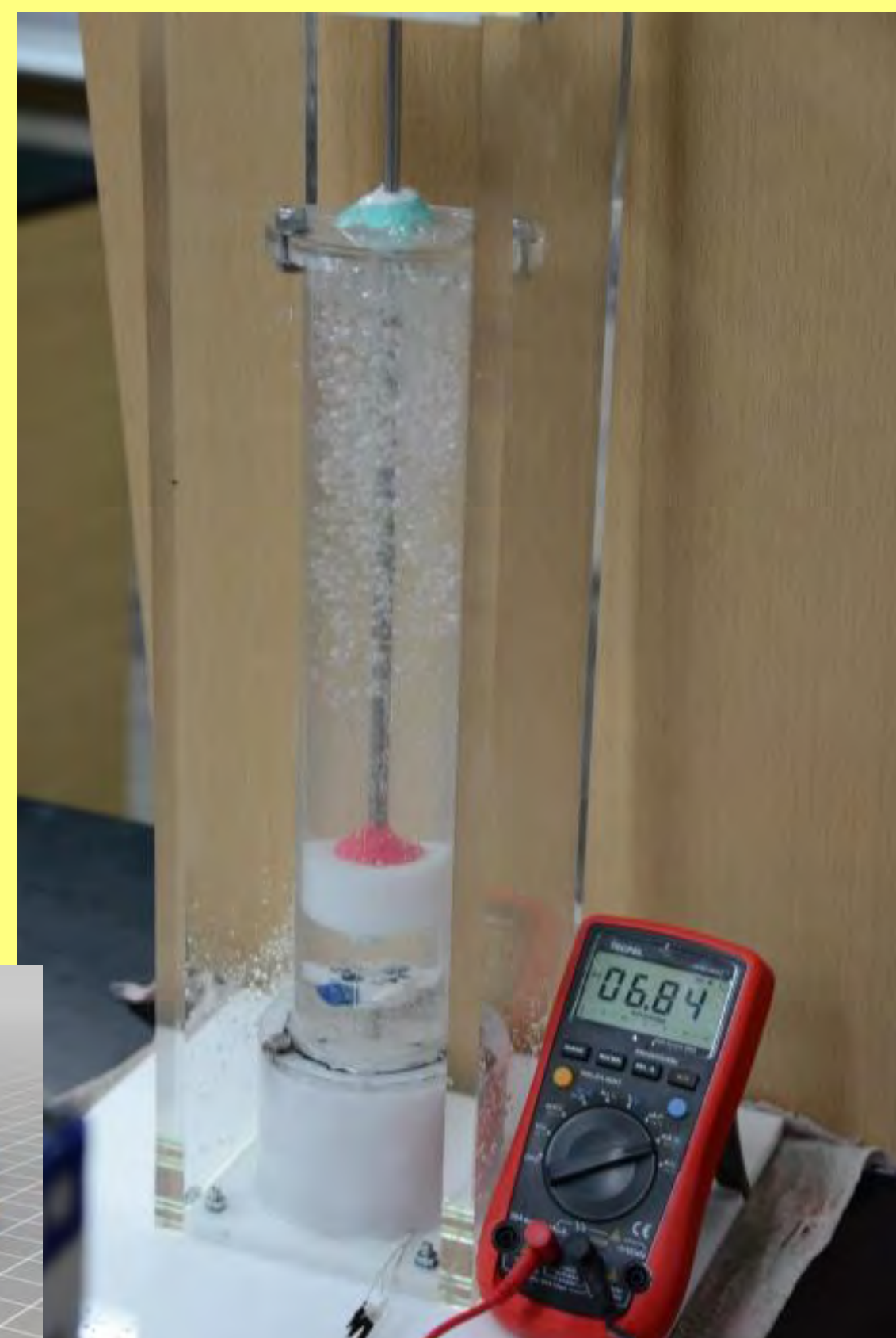
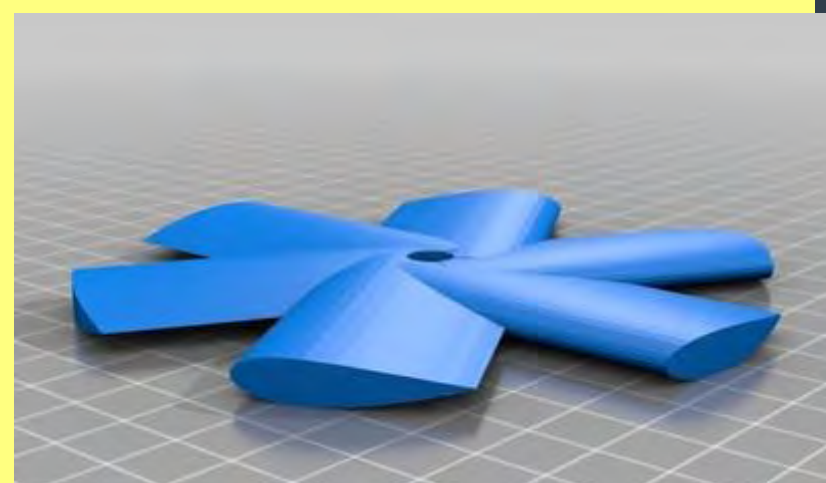
壹、研究動機

本作品利用威爾斯渦輪**上下對稱**葉片設計，無論流體方向皆能朝同一方向運轉。將其運用在具有往復流體運動的液壓避震器中，便能有效在避震同時達到發電的功效。

看見利用威爾斯渦輪進行潮汐發電模型，便聯想到：若能直接利用液壓避震器中反覆回流的液體，讓渦輪轉動發電，不僅舒適安全的**避震**，且可回收動能**發電**，一舉數得，非常實用。我們決定針對先前在**2016 IEYI哈爾濱世界青少年發明展**得到**國際金牌**的第二代威爾斯渦輪加以改良，使實驗操作與數據的記錄更加準確。期使威爾斯渦輪在液壓避震器中的應用更加廣泛。

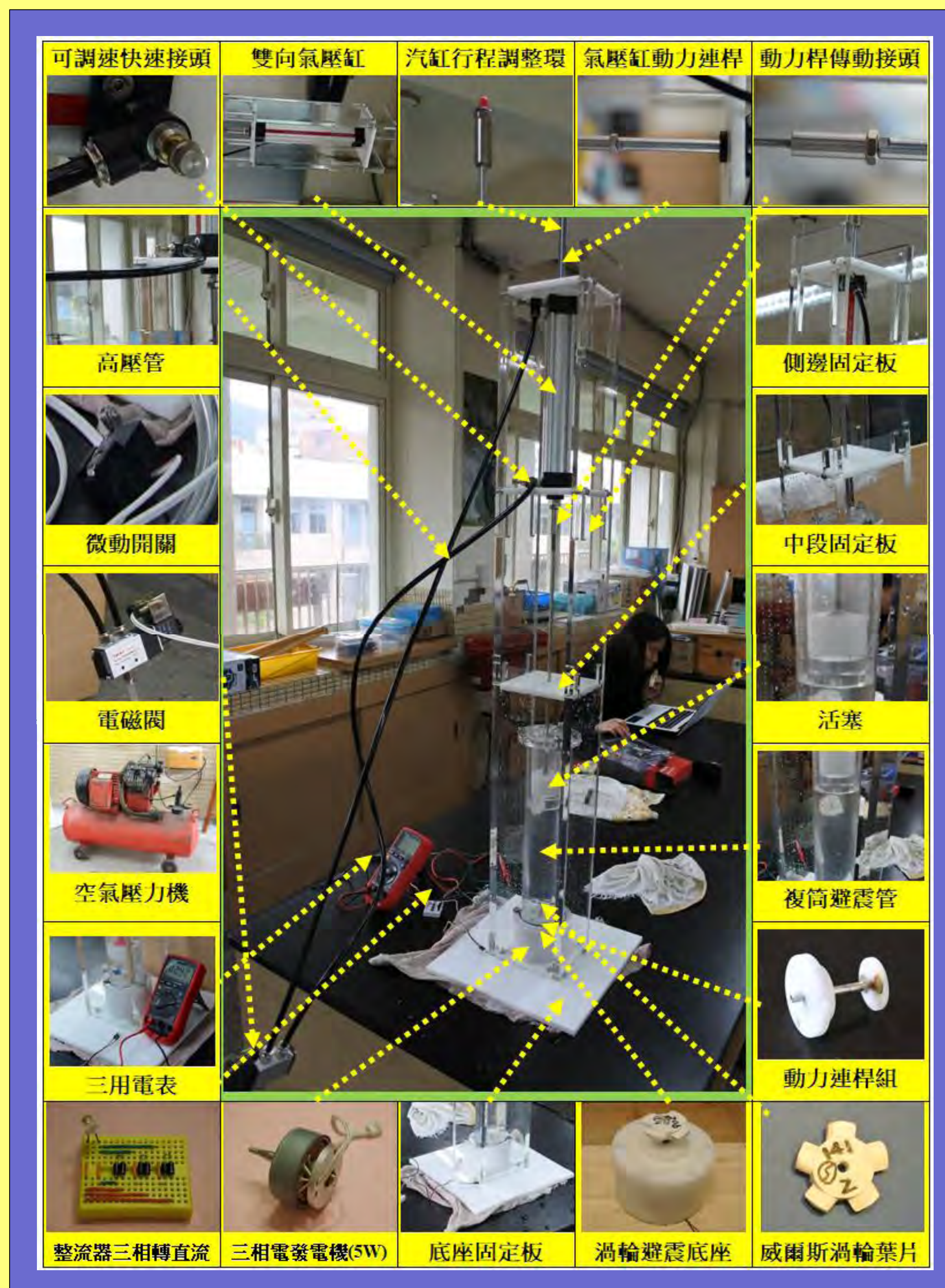
貳、研究目的

- 一、歸納威爾斯渦輪各運轉變項間的相互影響。
- 二、提升液壓避震發電器之發電效能。
- 三、設計可調控各種震動變項的擬真裝置。
- 四、實測各震動變項中威爾斯渦輪發電的實測效能。



參、研究設備及器材

一、第三代複筒式液壓避震實驗組



二、第一代威爾斯渦輪單向水流實驗組



三、第二代複筒式液壓避震實驗組



*獲得2016 IEYI 世界青少年發明展國際金牌



肆、研究過程與方法

一、實驗物件

(一)威爾斯渦輪規格定義

- 1-扇葉外徑(4.5cm)
- 2-扇葉盤外徑(3cm)
- 3-通氣比(30%)
- 4-葉片數(5片)
- 5-厚度(0.98)
- 6-阻推比(2/10)
- 7-翼展(0.75cm)
- 8-翼長(1.64cm)



(二)優化水中威爾斯渦輪扇葉



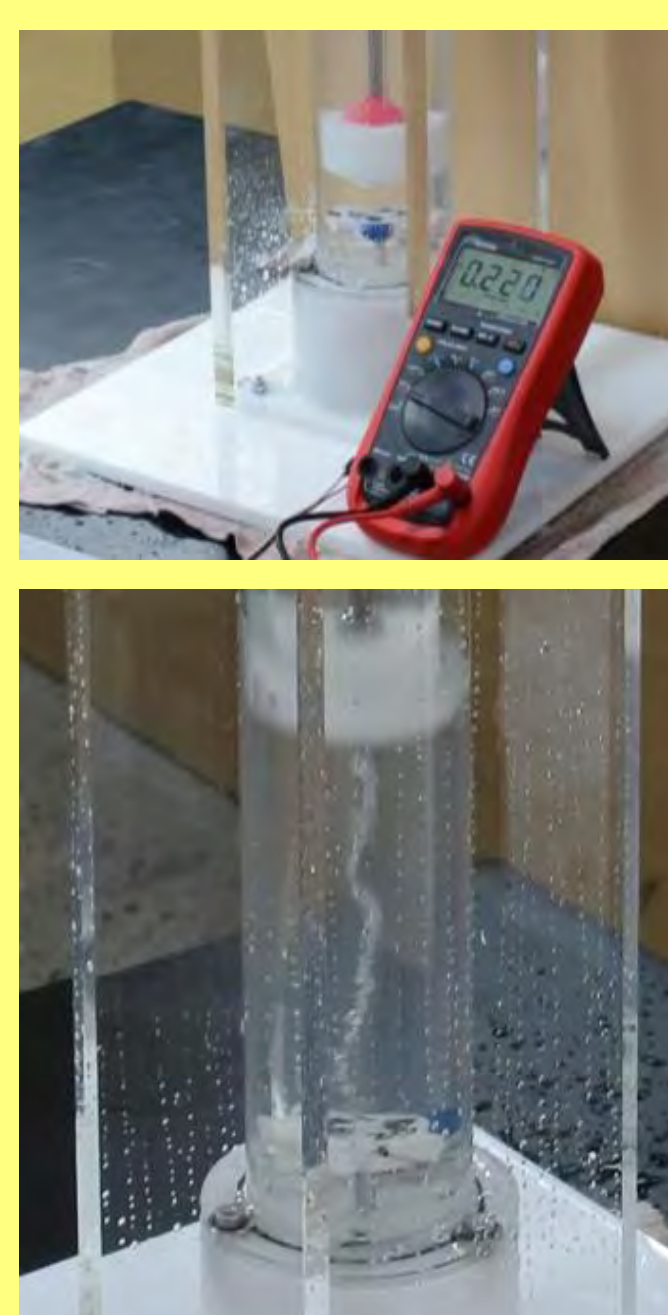
二、變項探討與實驗設計

變項1：往復水流頻率幅度對渦輪運轉的影響

變項2：同頻、不同幅水流對渦輪運轉的影響

變項3：同幅、不同頻水流對渦輪運轉的影響

變項4：往復水流頻率幅度對渦輪發電的影響

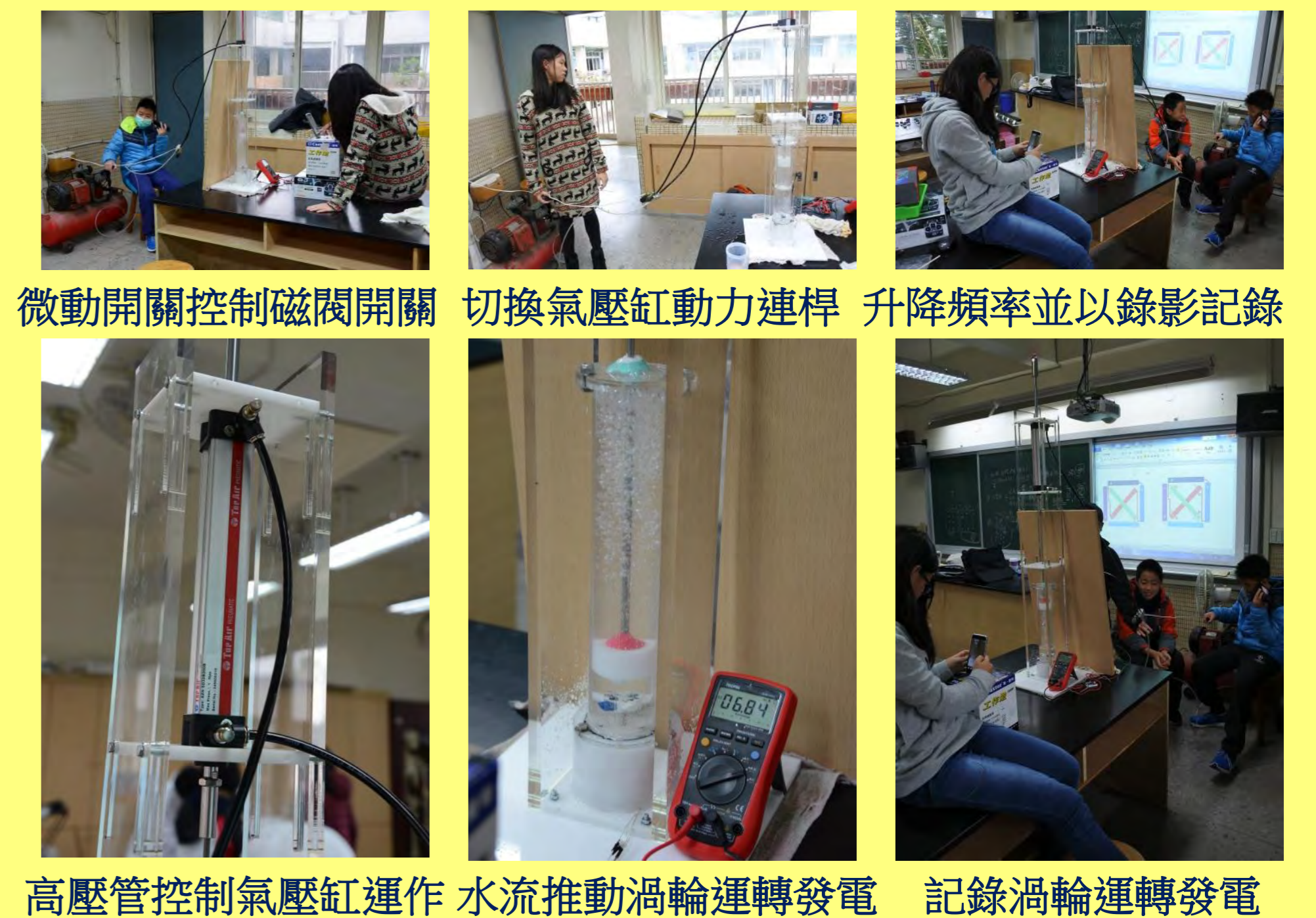


三、歷代避震器



四、實驗操作

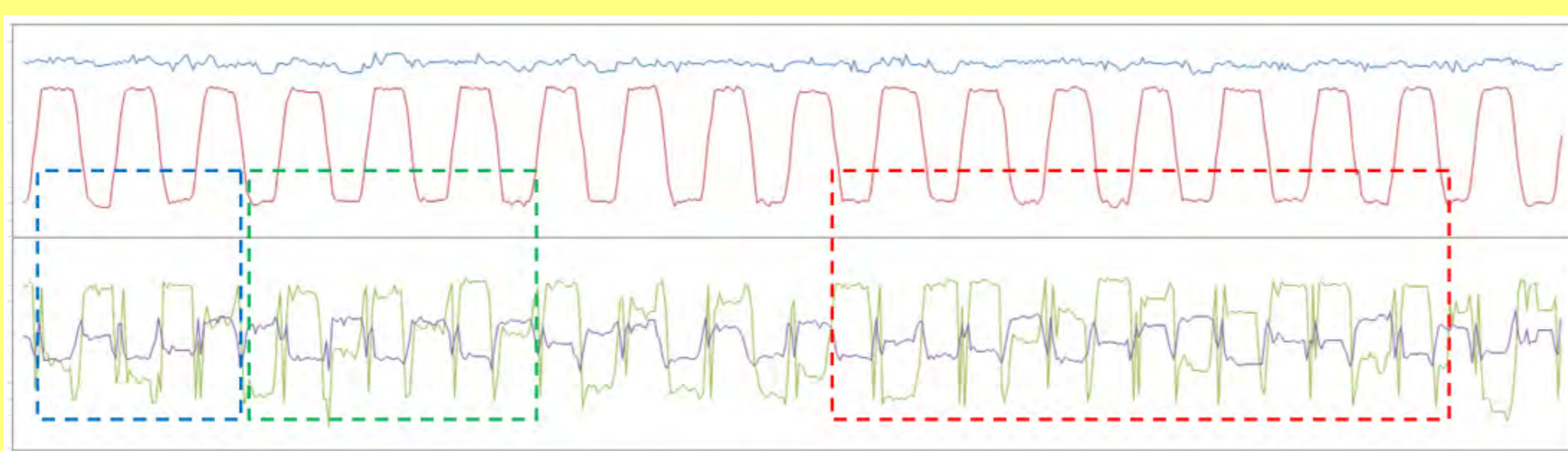
- (一) **使用5W的高效能發電機**：轉速慢但可大幅提高發電量，加上氣壓缸與壓縮機，產生的功率能有效帶動渦輪旋轉。
- (二) **減少避震器底座水密隔間厚度**：底座發電機室水密隔間厚度0.2cm，增加渦輪與馬達連桿磁吸力降低空轉現象。
- (三) **定量的震動源**：將震動源以氣壓缸的動力代替，透過空氣壓縮機、磁閥開關、微動開關與高壓管控制氣壓缸動力的頻率與幅度。
- (四) **實驗操控**：改以電磁閥與氣壓缸操作，確保其頻率與幅度穩定，且可根據實驗需求彈性調整。
- (五) **數據記錄**：利用三用電表記錄電壓與電流。
- (六) **影像分析軟體**：透過Tracker 4.84將影片中的光點移動數值化，提供分析的數據。



伍、研究結果

結果一：由影像分析結果解釋與活塞、渦輪間的運動關係

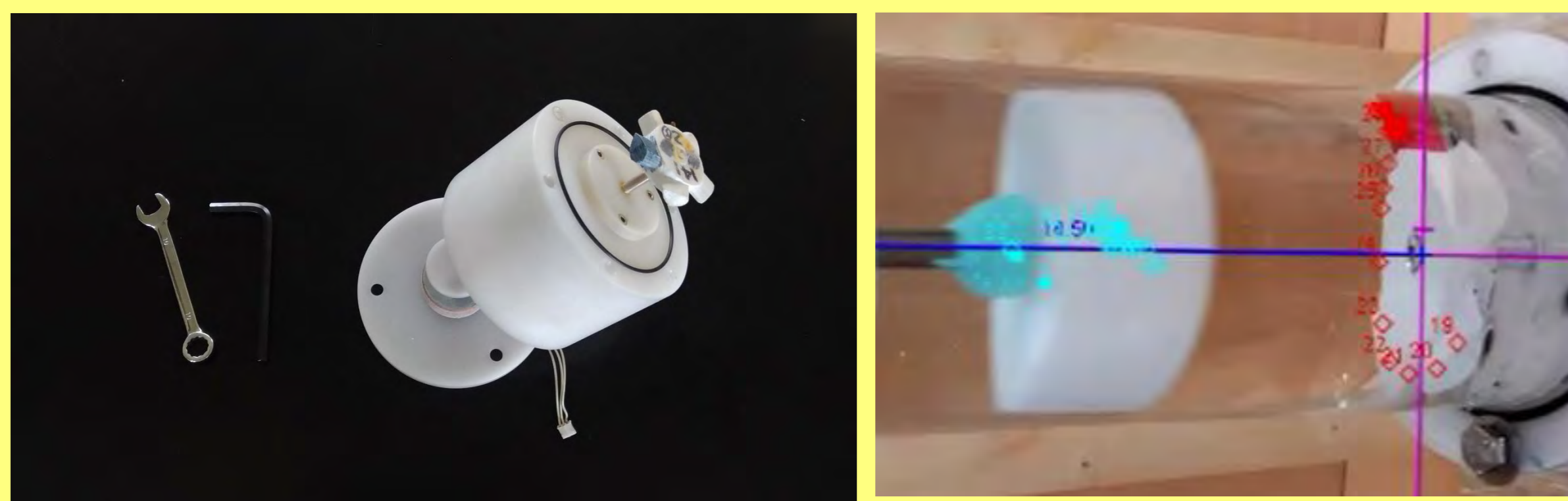
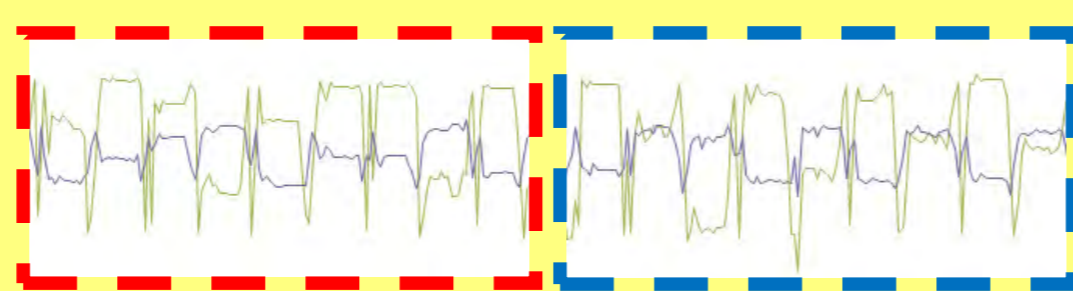
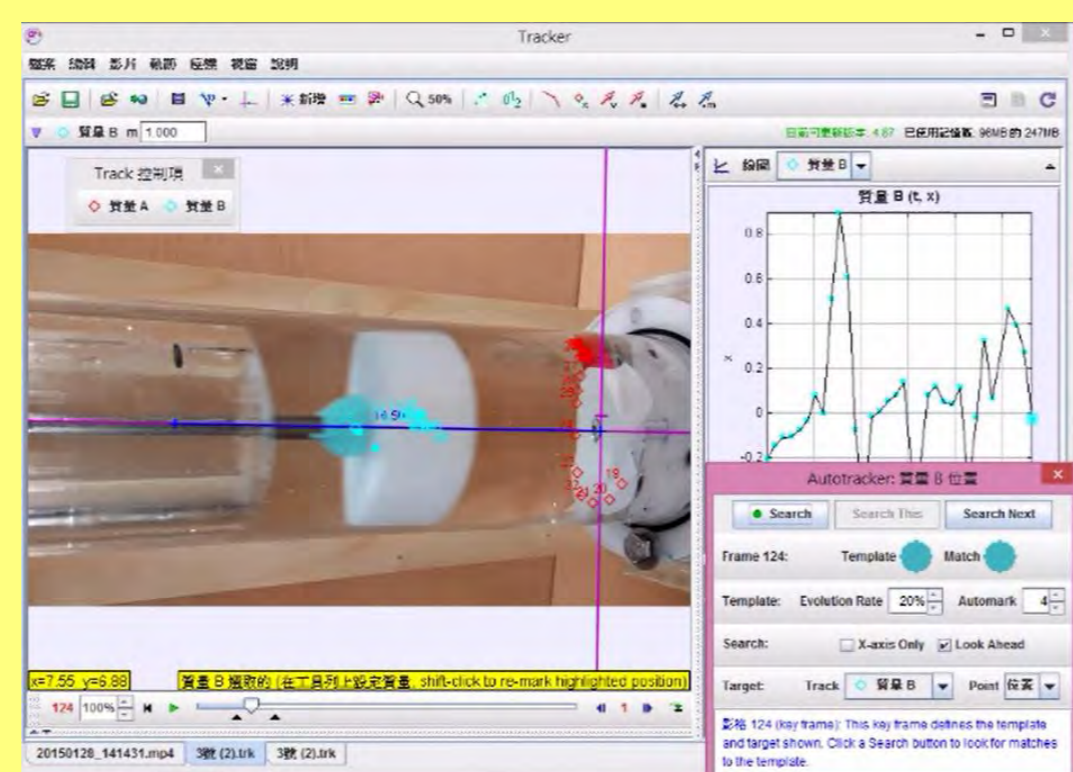
活塞與渦輪運動軌跡曲線參照解讀：將活塞與渦輪的移動軌跡，對齊**共同影格時間軸**與**起始時間點**。



活塞(上)、渦輪(下)運動行程

將活塞與渦輪的移動軌跡，對齊共同影格時間軸與起始時間點發現：

1. 活塞往復運動路徑的幅度相當一致。
2. 渦輪軌跡用X、Y軸座標，因此要同時從X、Y軸變動趨勢的循環中解讀
3. 每一次藍、綠線交錯，表示渦輪轉動一圈。
4. **紅虛線框**表示渦輪連續穩定運轉；**藍色**的虛線框表示渦輪則呈現**間歇停頓**的運轉。
5. 渦輪間歇轉動多發生在活塞往下時產生下沖水流，循環一段時間當渦輪轉動配合往復水流便會有**接續**和**間歇**交錯(**綠虛線**)。



結果二：相同頻率，改變往復水流幅度，對渦輪運轉影響

操作：比較四種頻率：60次/分、80次/分、100次/分、120次/分，在15cm和20cm的往復水流程度下，對渦輪運轉的影響。

結果：

1. 頻率**60次/分**：20cm活塞行程水流渦輪連續轉動時間比15cm多，增加活塞行程(15cm→20cm)，對渦輪連續轉動有幫助。
2. 頻率**80次/分**：渦輪轉速幾乎與活塞的頻率一致，但在15cm活塞行程下，一開始渦輪有部分間歇轉動。
3. 頻率**100次/分**：兩個活塞行程都能讓渦輪連續轉動，轉速幾乎與活塞的頻率一致。
4. 頻率**120次/分**：兩個活塞行程都能讓渦輪連續轉動，但15cm行程渦輪連續轉動時間比20cm行程穩定。在100次/分頻率，渦輪轉動受發電機感應電流阻抗，當水流頻率和發電機相符(共振)，渦輪轉動穩定，反之，就會抵銷造成動能無法由活塞接續到發電機。

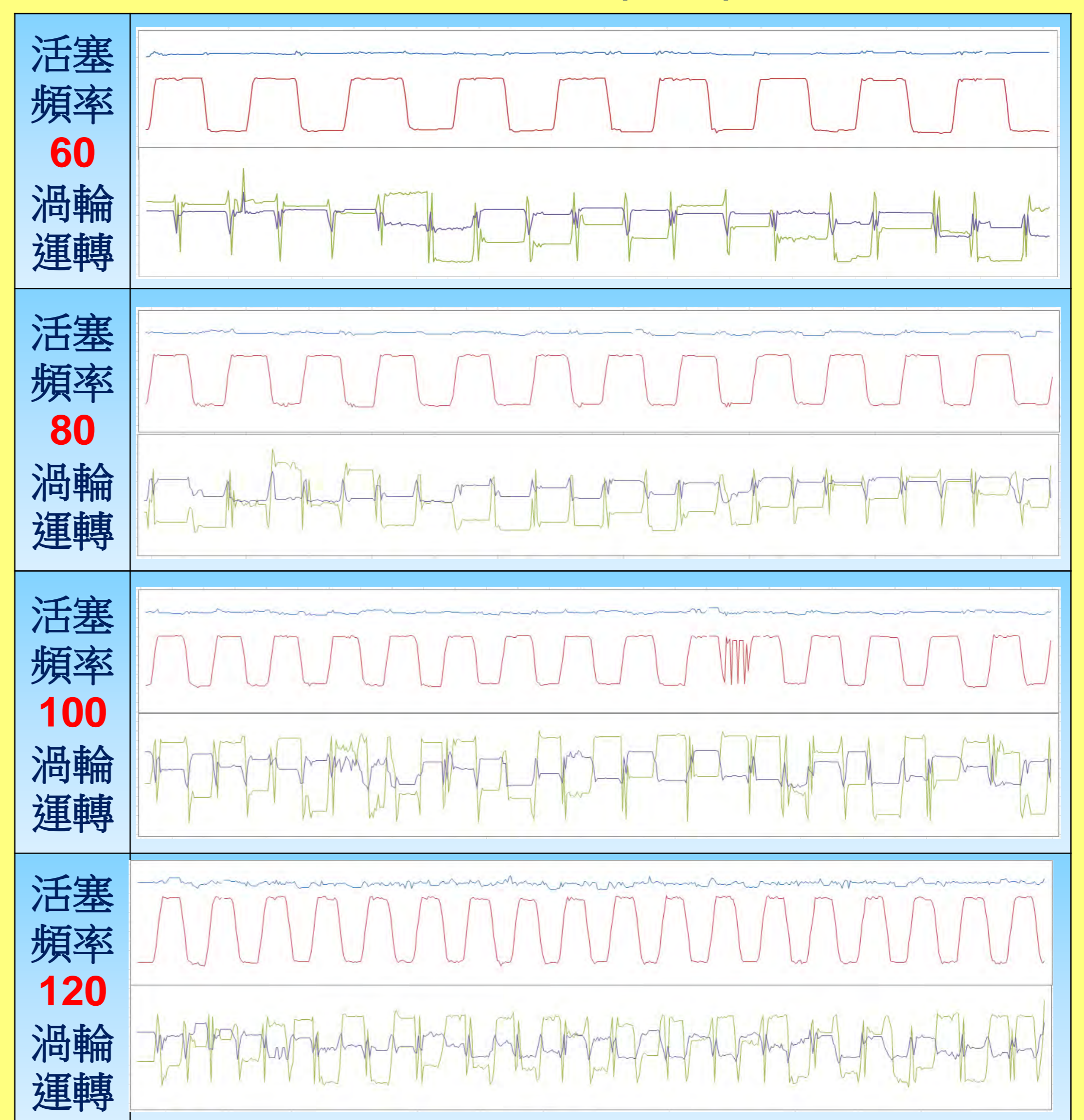
結果三：相同幅度，改變往復水流頻率，對渦輪運轉影響

操作：比較兩種行程幅度：15cm、20cm，在60次/分、80次/分、100次/分、120次/分的往復水流頻率下，對渦輪運轉的影響。

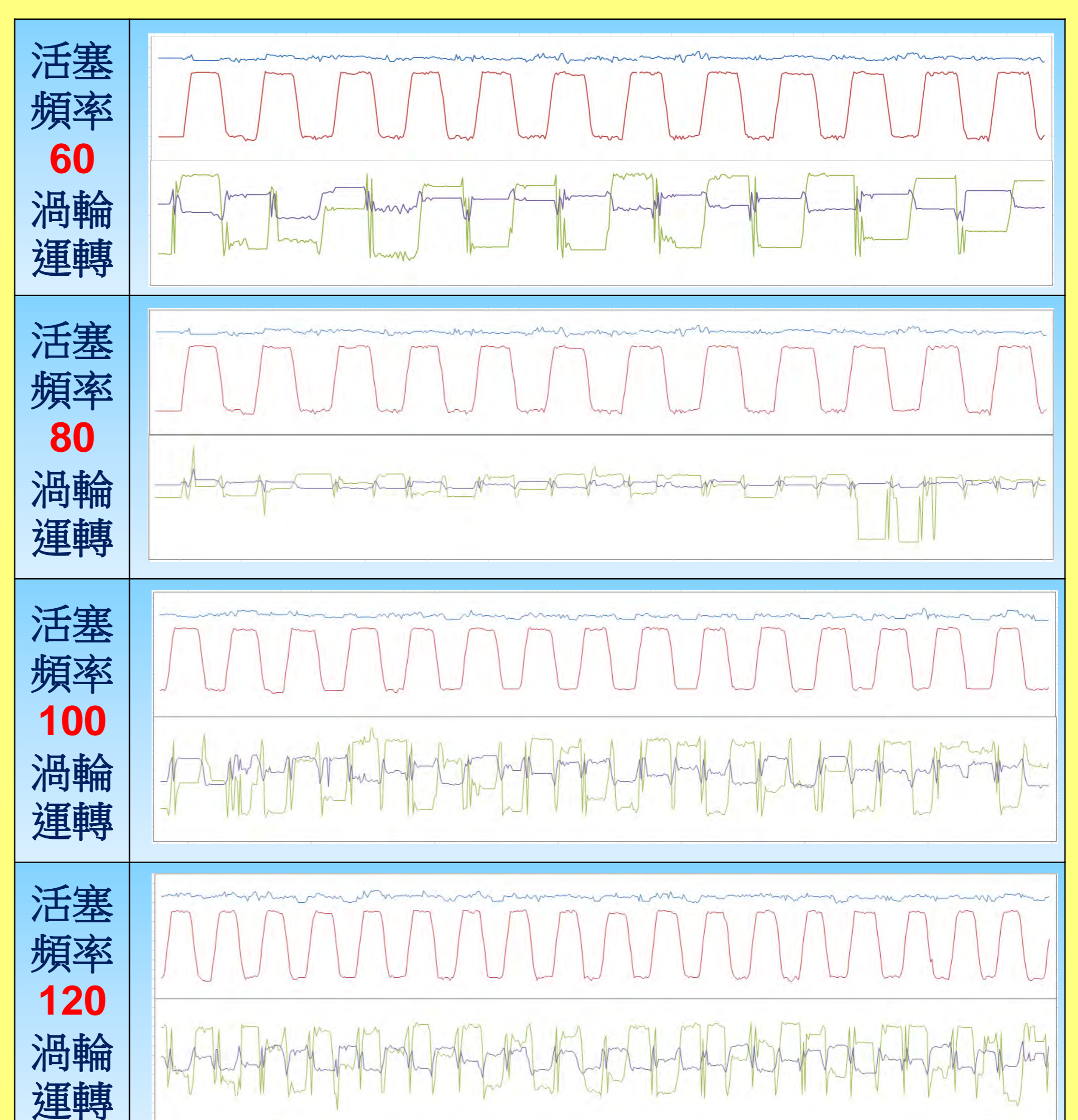
結果：

1. 幅度**15cm**：頻率越快，渦輪接續轉動越順暢，同時渦輪轉速幾乎與活塞頻率同步。但在頻率120次/分，渦輪轉動開始斷斷續續。
2. 幅度**20cm**：頻率80(次/分)渦輪接續轉動很順暢，渦輪轉速與活塞頻率幾乎同步；頻率100(次/分)渦輪轉動出現斷斷續續的現象；同樣在頻率120(次/分)，渦輪轉動也發生接續情況，顯然活塞過大的行程與頻率產生的水流，不一定能完全反應在渦輪的轉動上。

行程幅度**15cm**，比較60~120(次/分)的往復水流頻率



行程幅度**20cm**，比較60~120(次/分)的往復水流頻率



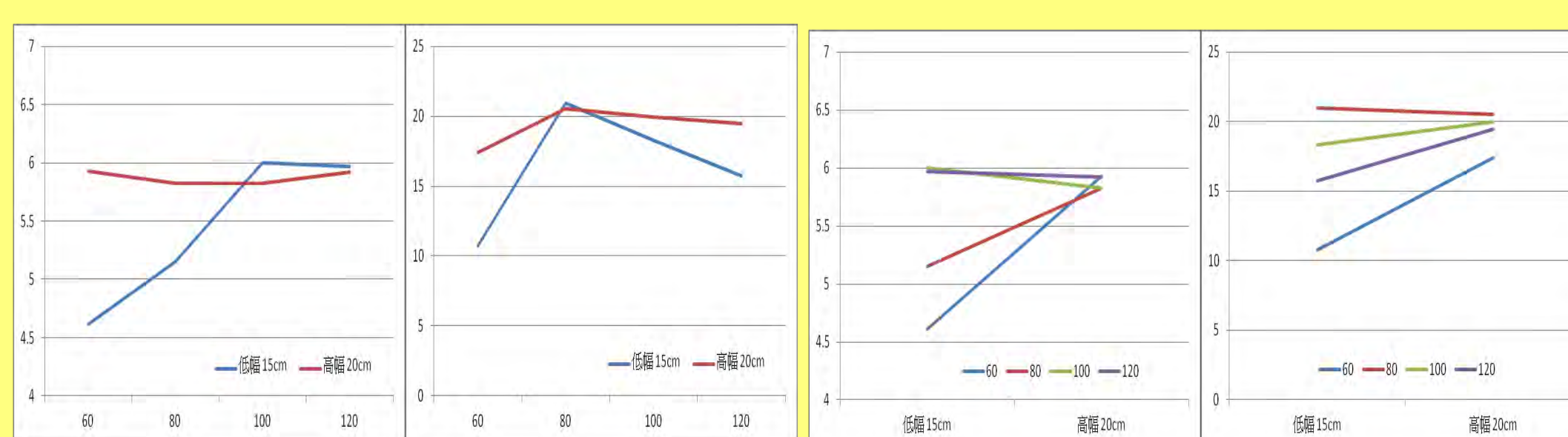
實驗四：往復水流頻率與幅度對避震發電的影響

結果：

- 1.比較幅度15cm和20cm在60~120(次/分)頻率下，100次/分時為最佳發電效率。
- 2.當頻率到達80(次/分)時發電量最高，判斷80~100(次/分)是理想的發電頻率。
- 3.比較60~120(次/分)頻率，比對幅度15cm和20cm發現：提升頻率(80次/分)以下電壓有用，但超過(100次/分)時，電壓升幅會降低。
- 4.比較電流也有相同趨勢，只是隨頻率增加，在120(次/分)時還會下降。
- 5.幅度15cm和20cm在60~120(次/分)功率，80~100(次/分)影響不大，小於80(次/分)或大於120(次/分)，幅度越低發電功率也降低。
- 6.比較60~120(次/分)頻率，在幅度15cm和20cm下發現，幅度對提升頻率60(次/分)以下電壓有幫助，超過80(次/分)電壓升幅降低。
- 7.當頻率達到100(次/分)，已達到最佳發電效果，即使頻率再增加，發電量也不會提高。

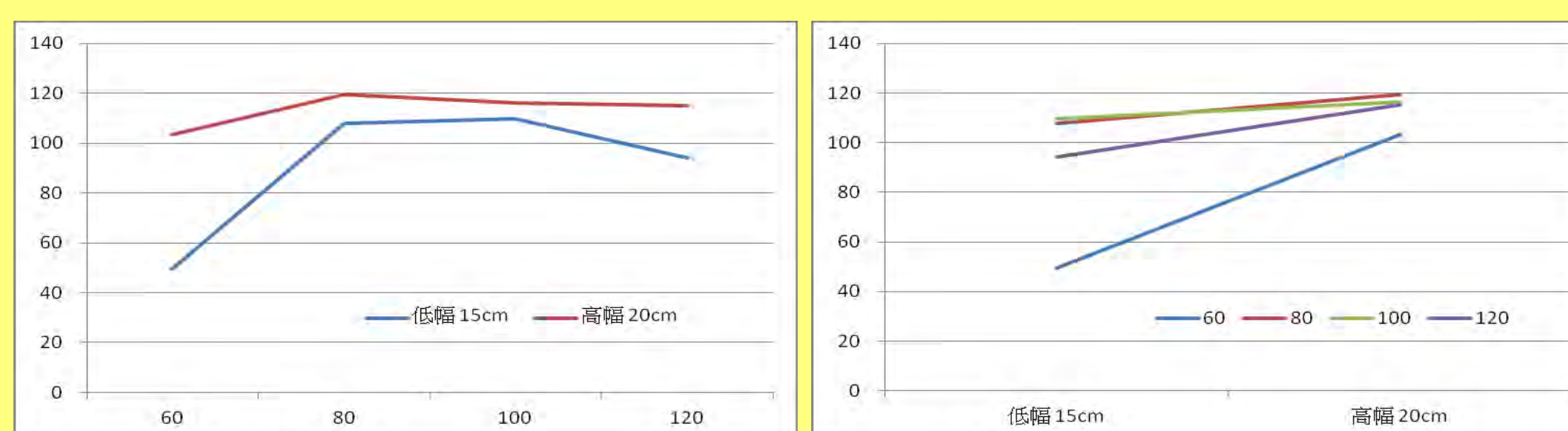
威爾斯渦輪複筒式液壓避震發電效果

發電情形		電壓峰值(V)		電流峰值(mA)		功率峰值(mW)	
往復水流	幅度	低幅	高幅	低幅	高幅	低幅	高幅
		15cm	20cm	15cm	20cm	15cm	20cm
頻率	60	4.613	5.926	10.75	17.42	49.6	103.2
	80	5.148	5.824	20.94	20.52	107.8	119.5
	100	5.997	5.824	18.29	19.96	109.7	116.2
	120	5.968	5.919	15.76	19.45	94.1	115.1



兩種幅度不同頻率發電電壓(左)/電流(右)

四種頻率不同幅度發電電壓(左)/電流(右)



兩種(左)/四種(右)幅度不同頻率發電功率

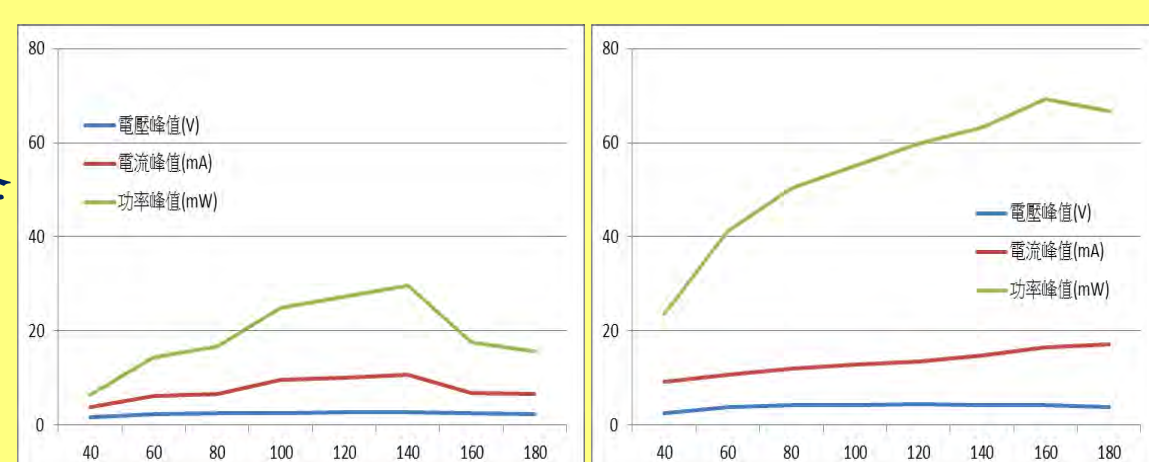
陸、討論

討論一：提升避震發電應用的效能

(一)因應車用避震器幅度(約3~7cm)，考量實用性，新增5cm、10cm往復水流幅度發電效能測試。

發現：

- 1.5cm幅度，最佳發電頻率提高到140次/分。
- 2.即使40次/分依舊有5cm、10cm幅度在各頻率下對避震器發電效能的影響
- 3.提高幅度發電效果比頻率好，過高或過低的頻率都會降低發電的效果。



經驗公式三：

運轉效能(Oe) = 作用水流 × (翼面阻推比 × 扇葉厚長比 - 翼緣水阻)

$$= \text{作用水流} \times \left(\frac{\text{翼長推力長度}}{\text{翼長阻力長度}} \times \frac{\text{翼厚}}{\text{翼長}} - \text{翼厚} \times \text{翼展} \right)$$

$$= \frac{L \times a \times s}{\pi \times (R^2 - r^2)} \times \left(\frac{WP_d}{WB_d} \times \frac{WT}{WL} - WT \times WU \right)$$

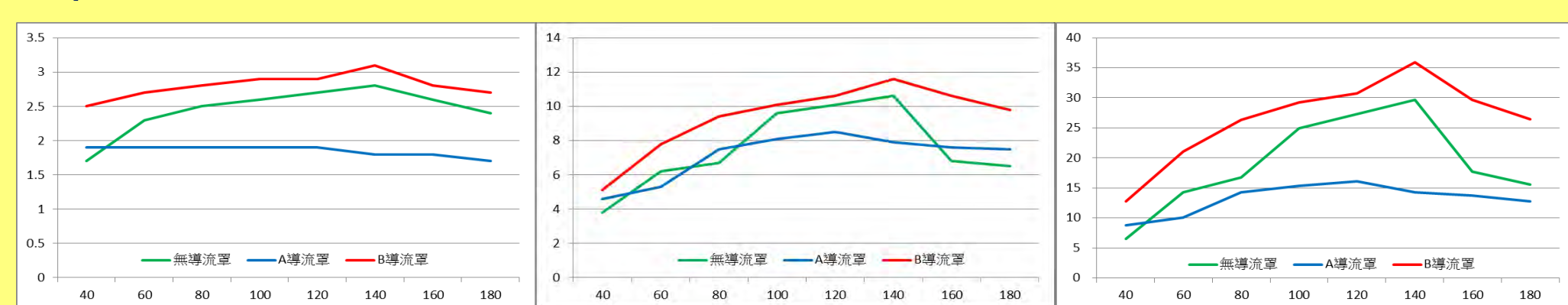
公式三：在一定時間內單位作用水流轉換的運轉效能

$$\rightarrow \frac{We \times Oe}{t}$$

公式二：透過改變翼長、翼展調整扇葉面積，便可改變水流對扇葉的作用。

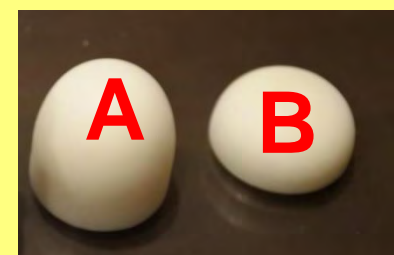
公式一：單位進水量與管路口徑固定，改變扇葉盤外徑與扇葉通氣比，可改變水流在管路中流速。

(二)軸心加裝蛋型導流罩來增加流速與減少擾流



5cm幅度對發電電壓(左)、電流(中)、功率(右)的影響

發現：B導流罩 > 無導流罩 > A導流罩。導流罩減少亂流效果比增加水流明顯。



討論二：渦輪實務分析

經驗公式一：

$$\text{水流速度}(Ws) = \frac{\text{單位時間進水量}}{\text{管路內水流截面積}} = \frac{\text{單位時間進水量}}{\text{管路口徑截面積} - \text{扇葉盤面積}}$$

$$= \frac{L}{\pi \times R^2 - \pi \times r^2} = \frac{L}{\pi \times (R^2 - r^2)}$$

經驗公式二：

$$\text{作用水流}(We) = \text{水流速度} \times \text{扇葉總面積} = \text{水流速度} \times (\text{扇葉面積} \times \text{扇葉數量})$$

$$= \frac{L}{\pi \times (R^2 - r^2)} \times (a \times s) = \frac{L \times a \times s}{\pi \times (R^2 - r^2)}$$

討論三：歸納渦輪運轉變項的最佳組合

- 一、水與空氣密度差距775倍黏滯性差距55.5倍。
- 二、因應流體密度與黏滯性提升葉片效能方式
 - (一)增加外徑：當密度與黏滯性增加，每單位面積作用密度增加，流速提高，便能提升運轉。
 - (二)減少葉片數：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。
 - (三)增加葉片受力面積：增加水流截面中葉片面積的比例，便可縮減葉片間隙的通氣比。
 - (四)提高翼面推力比：密度與黏滯性增加，使流速變慢，利用較高的推力比，克服水阻。
 - (五)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，因應較慢流速。
 - (六)減少葉片通氣比：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。

柒、結論

- 一、最佳往復水流為：雙向水流幅度20cm、頻率80~100(次/分)；活塞頻率過快、過慢，可能無法依靠強力磁鐵連動發電機，或發電效果不彰。
- 二、威爾斯渦輪與避震發電系統設計理念
 - (一)將避震動能因摩擦耗損，經轉換回收為電力，使耗損動能有效利用且提高行車安全與騎乘舒適。
 - (二)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，比透過壓電元件間接觸壓產生的電多。
 - (三)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。同時也不影響騎乘時腳踩動力。
 - (四)利用避震阻尼回收動能轉換電力的設計，比傳統動能轉換熱能散失來的環保。
- 三、今年度重大突破
 - (一)實驗操作：改以電磁閥與氣壓缸操作，確保其頻率與幅度穩定，且可彈性調整。
 - (二)水密結構：1.以強力磁鐵連接，未直接接觸，達到有效的水密效果。2.為了使運行中的流體更加單純(僅有水而非含有空氣)，將先前僅添加至複筒半滿處的水加至全滿，並在上方以矽膠封起。
 - (三)發電效率：1.以氣壓缸與空壓機實驗，能更有效帶動渦輪。2.新增蛋型導流罩，提升發電效率。
- 四、研究的重要性：利用威爾斯渦輪回收避震液壓流動的動力發電，經查詢後證實是獨創的設計，從設計製作中，學到改裝的技術與自行探索出更多、更新的發現。
- 五、應用：1.腳踏車避震發電器 2.行車充電裝置 3.汽車避震發電器 4.人工智慧路況檢測

參考資料

- 楊閔翔、簡伊晨、陳律臻(2015)：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。中華民國第55屆中小學科學展覽會。
 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。
 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。
 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、高瑋翔(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。