

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 物理科

佳作

030116

風水輪轉—氣、液兩用特斯拉渦輪發電機設計與
應用探討

學校名稱：臺南市立復興國民中學

作者： 國二 陳孟劭	指導老師： 黃吉楠 陳尹柔
-------------------	-----------------------------

關鍵詞：再生能源、特斯拉渦輪、黃金螺線

摘要

2050 年淨零碳排的目標，全球積極發展再生能源維持充足的能源供應。本研究以廢棄光碟片製作特斯拉渦輪，學習大自然黃金螺線改良；分別以空氣及水兩種流體，比較渦輪轉速效果，轉子採用螺線數量：0 條、2 條、4 條或 6 條，分別搭配 0 度、10 度或 20 度入口角度。氣源壓力為 1.00 kgw/cm^2 時，採用 4 條螺線，搭配 0 度入口，轉速為 1735 RPM，相較特斯拉渦輪轉速 746 RPM，轉速提升 133%；水源壓力為 0.50 kgw/cm^2 時，採用 4 條螺線流道，搭配 10 度入口，轉速為 657 RPM，相較特斯拉渦輪轉速 381 RPM，轉速提升 72%；透過黃金螺線引導，可有效提升低壓流體的渦輪轉速。以氣源帶動渦輪成功驅動輪殼發電使 LED 燈照明；並對鋰電池進行充電，展示特斯拉渦輪發電效果。期盼可以發展成小型發電裝置並應用。

壹、前言

一、研究動機

現今的能源仍以石化及核能為主，造成溫室效應和環境惡化，俄烏衝突更擴大全球能源危機。因此世界許多國家宣布，將在 2050 年達到淨零碳排的目標，希望阻止地球持續升溫。台灣屬於海島國家，缺乏天然能源，正積極發展再生能源以維持充足的能源供應，例如：太陽能、風力、潮汐能、地熱能、水力...等。

早期台灣再生能源以發展大型水力發電為主，水力發電是利用水流撞擊葉片產生的阻力轉動葉片。卻因為興建水庫破壞了山地，對環境造成威脅，近年來開始推動微小水力發電，用少許的水就可以製造電力[1, 2]。風力發電是另一種使用流體流經葉片運轉的再生能源主流，透過流經葉片上下端空氣流速不同所產生的推力進行發電。雖然兩種發電都是使用葉片，作用原理卻不相同，是否能有一種裝置，同時能使用氣體或液體運轉？

發現家裡有一堆廢棄的光碟片，除了當廢棄物回收、製作反光片驅趕鳥禽還有其他用途嗎？本研究期盼利用廢棄光碟片製作一台可以氣體與液體兩用的發電機結構，未來可應用於小型發電。

二、文獻回顧

特斯拉渦輪機(Tesla turbine)是由尼古拉·特斯拉在 1913 年取得的發明專利，它應用了邊界層效應，利用高速運動流體產生的黏性帶動一組碟片轉動，而非傳統的用流體直接衝擊渦輪葉片，故也被稱為無葉片渦輪(圖 1)，可適用於氣體及液體的運轉結構，當流體噴入碟片間的空隙，透過和碟片接觸產生的剪切力(定義為單位面積上所承受的力，且力的方向與受力面的法線方向垂直)，帶動轉軸轉動[3]。

特斯拉渦輪包括外殼及轉子兩部分，轉子的部分是由多片平行的碟片排列而成，碟片間裝置墊片保持固定的間距，使流體可以進入的通道(圖 2)。Hoya 和 Guha[4]以空氣為工作介質，研究發現該裝置達到碟盤間距為 0.4mm-1.0 mm 時，獲得最佳的效果。碟盤間距小於 0.4 mm 或大於 1 mm 時，渦輪效率會迅速下降。

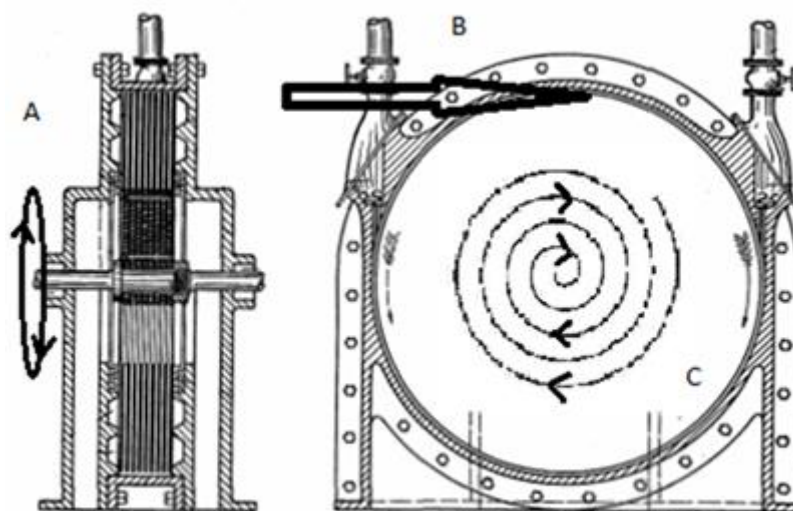
兩片平板間的流體，鄰近靜止平板的流體會有黏滯於板上的情形(圖 3)，與平板的速度差為零。其中兩板的間距為 h ，上方平板移動的速度為 V ，兩片平板間的流體在各點速度分佈為 $u(y)$ 。這種情形發生在液體和氣體上，稱為無滑動條件(no-slip condition)。當流體進入轉子

後，最接近碟盤的氣體分子會黏滯在盤上，而近鄰的氣體分子會和黏滯於盤上的分子相互拉扯，而減慢速度；被減慢速度的氣體分子會再度影響其鄰近的分子，減慢速度，以此類推；當離開盘面越遠，氣體的拉扯力量越少。盤面上會產生一個薄層，薄層中流體速度從盤面上的零變化到自由流(free stream)的速度，此薄層稱為邊界層(boundary layer)。當流體進入碟盤間隙之後，靠近壁面的流體，受到黏滯力的作用，會逐漸減速並形成邊界層。當氣流逐漸往下流動，隨著流動距離增長，流體受到壁面上的摩擦力影響，會逐漸失去動能，當摩擦力與壓力達到平衡後，流體的速度會達到定值，會形成完全發展流的狀態，如圖 4 所示。

因特斯拉渦輪於高速旋轉條件下可獲得較高效率[5]，故文獻研究多探討高壓力/高轉速的應用，但當渦輪機運轉於極高壓力及轉速(數萬轉)條件下，對於輪片的平衡、材料剛性及整體精度要求極高，任何閃失，皆會造成轉子毀損；且一般生活中不易取得高流速運動流體，故難以於日常生活應用。文獻亦鮮少討論低壓力及低轉速的應用，此研究希望可以透過仿生結構討論於低壓力下之應用的可能性，同時可降低對於轉子的平衡、材料及結構需求。

流體在碟片中的行徑軌跡(圖 5)以螺旋的形式流向中心的排氣孔，由影片文獻：Tesla Turbine-The interesting physics behind it [6]得知，當流體低速進入渦輪時，其軌跡會以最短路徑離開碟盤，幾乎不產生摩擦；隨著逐漸流速增加，軌跡慢慢形成螺線狀；當轉速夠快時，軌跡與大自然中的黃金螺線(圖 6)相似。

黃金螺線是將黃金矩形(長寬比為黃金比例的長方形)依黃金比例的長寬比往外擴張，再將正方形(邊長為費氏數列)頂點依序連接起來，其螺旋狀曲線與鸚鵡螺的外殼上的螺線極為相似，此螺旋狀的曲線數學上稱為黃金螺線[7-9]。



資料來源：https://en.wikipedia.org/wiki/Tesla_turbine[3]

圖 1、特斯拉渦輪結構

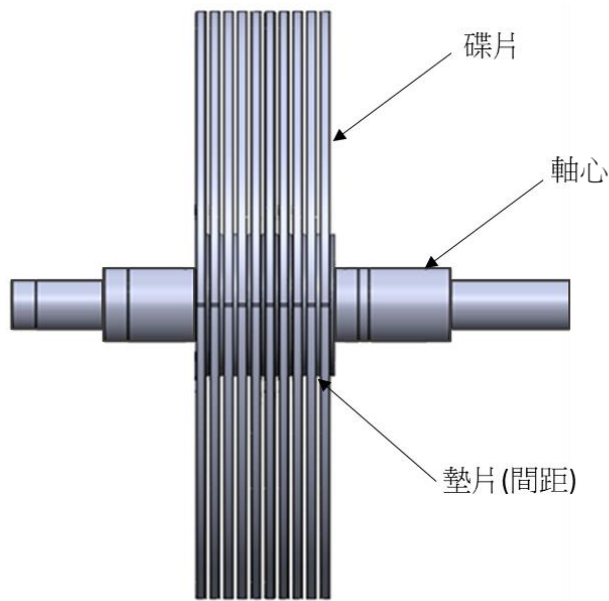
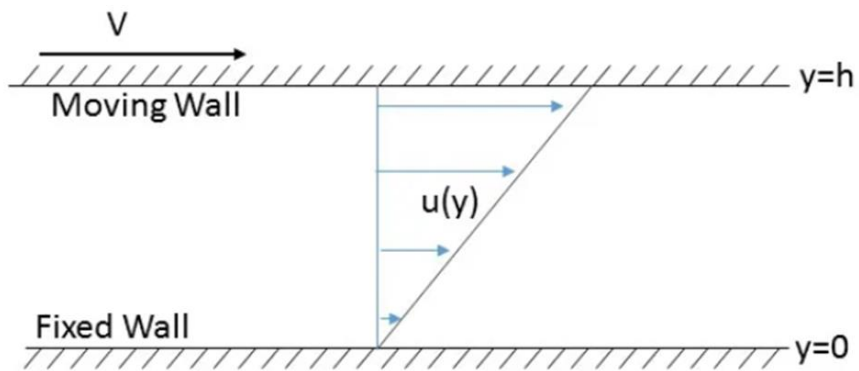
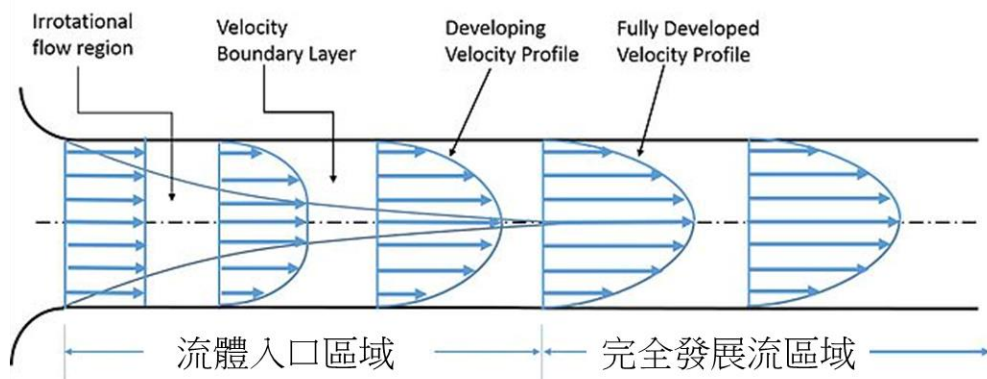


圖 2、特斯拉渦輪轉子



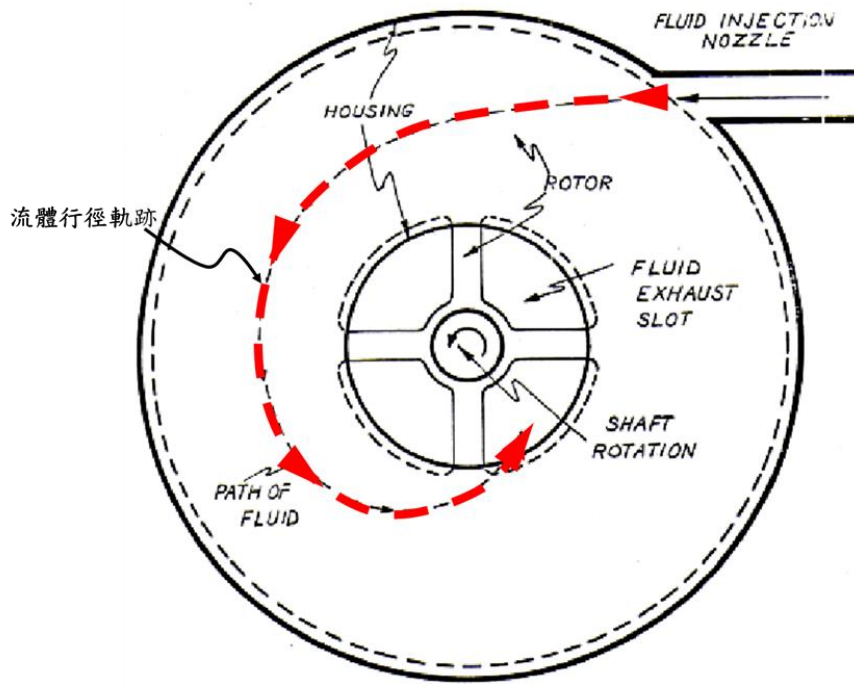
資料來源 Curiosityfluids

圖 3、兩平板間流體行為



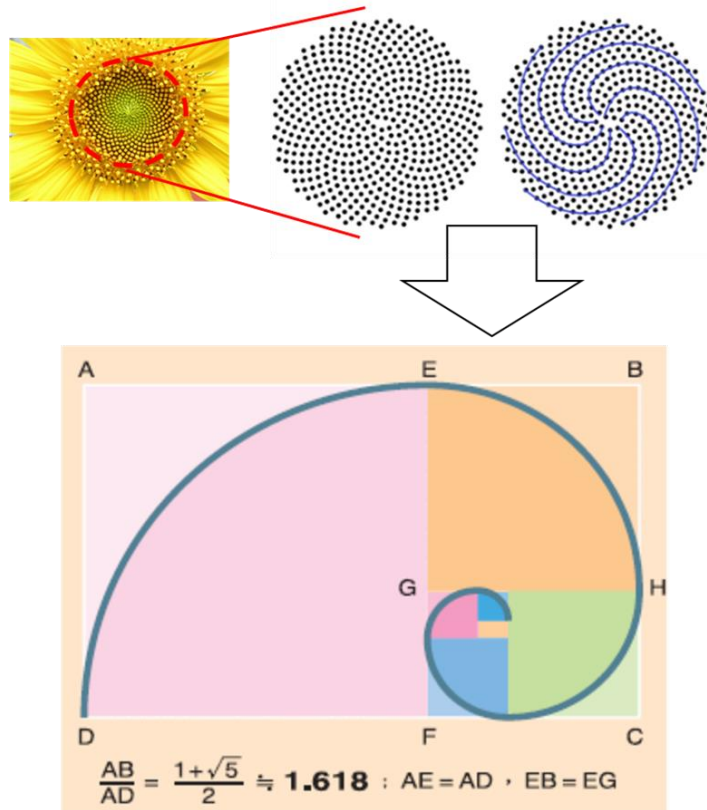
資料來源：維基百科

圖 4、碟盤間邊界層變化情形



資料來源：Development of Tesla Turbine for Green Energy[4]

圖 5、特斯拉渦輪流體行徑軌跡



資料來源：科學 Online

圖 6、大自然的黃金螺線

三、研究目的

流體會沿著溝渠流動，如果在渦輪上為流體製作出類似溝渠的流道，能不能使它的轉動效率增加？於是本研究期盼透過仿生學習以黃金螺線作為流道進行特斯拉渦輪改良，讓原本流速不足的流體，沿著流道行進，使低流速流體就能達到黃金螺線的軌跡，增長與碟片接觸的時間，就能帶動渦輪提高轉速。因此訂出了以下研究目的。

- (一)、利用廢棄光碟片設計及製作出可以使用風力及水力進行轉動的特斯拉渦輪機；
- (二)、透過仿生學習以大自然黃金螺線進行特斯拉渦輪改良；
- (三)、探討以不同螺線數量的渦輪改良與特斯拉渦輪原設計(無螺線結構)的轉動速率比較；
- (四)、探討以不同入口角度對渦輪轉速的影響，找出流體推動渦輪的最佳入口角度。
- (五)、應用較佳的設計參數(螺線數量、入口角度)條件，進行特斯拉渦輪發電機實際應用。

貳、研究設備及器材

一、特斯拉渦輪

特斯拉渦輪結構(圖 7)：當流體由入口進入，會帶動轉子旋轉，再由出口排出；包含：

(1)外殼、(2)側板、(3)軸心、(4)光碟片、(5)墊片及(6)螺旋等六項組件。規格說明：

(1)外殼：數量 1 個，尺寸為長 150 mm，寬 150 mm，高 35 mm；

(2)側板：數量 2 個，尺寸為長 150 mm，寬 150 mm，高 10 mm；

(3)軸心：數量 1 個，尺寸為長 95 mm，直徑 15 mm；

(4)光碟片：數量 9 片，尺寸為直徑 120 mm，厚度 1.2 mm；

(5)墊片：數量 9 片，尺寸為直徑 30 mm，厚度 0.4 mm，用於使光碟片等距間隔；

(6)螺線流道：尺寸為厚度 0.4 mm，用於製作流體通道，改良特斯拉渦輪。

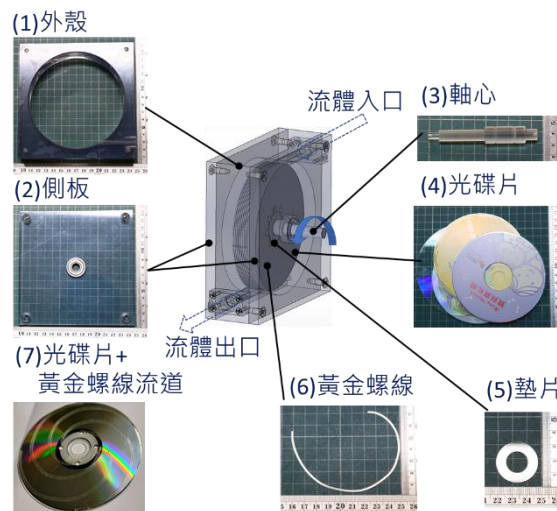


圖 7、特斯拉渦輪及組件

二、特斯拉渦輪發電機

特斯拉渦輪發電機示意圖(圖 8)，圖 8(a)為輪轂發電照明模組示意圖，包含(1)特斯拉渦輪、(2) 輪轂發電機及(3)LED 燈。當流體進入渦輪，渦輪機轉動，直接驅動輪轂發電機，並同時使 LED 燈發亮，輪轂發電模組實體照片如圖 9 所示。圖 8(b)為鋰電池儲能模組示意圖，包含(1)特斯拉渦輪、(2)直流發電機、(3)直流電壓轉換器(DC/DC converter)、(4) 電力負載。當流體進入渦輪，渦輪機轉動，帶動發電機產生電力，藉由電壓轉換器可將原先發出的 $4.5V_{DC} \sim 40.5 V_{DC}$ 電壓轉換成 $5.5 \pm 0.5 V_{DC}$ ，使儲能模組開始充電。直流發電機實體照片，如圖 10 所示；鋰電池儲能模組實體照片，如圖 11 所示。

三、壓力源及數位式轉速計

- (1)壓力源-氣體：使用壓縮空氣機，壓力範圍 0.50 kgw/cm^2 - 2.25 kgw/cm^2 。
- (2)壓力源-液體：使用家用水龍頭，壓力範圍 0.25 kgw/cm^2 - 1.5 kgw/cm^2 。
- (3)數位式轉速計-泰儀電子/RM-1500(圖 12)，量測範圍 10-99,990 RPM(每分鐘轉速)。

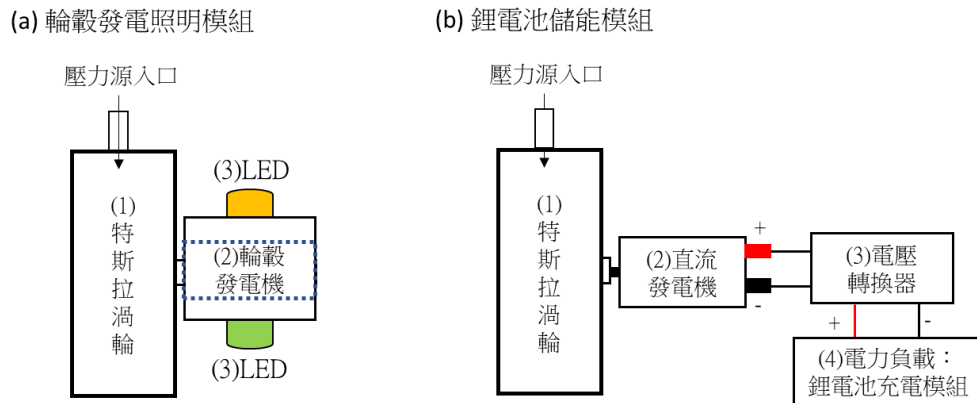


圖 8、特斯拉渦輪發電機示意圖

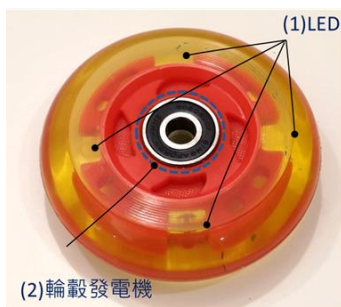


圖 9、輪轂發電照明模組實體照片



圖 10、直流發電機實體照片

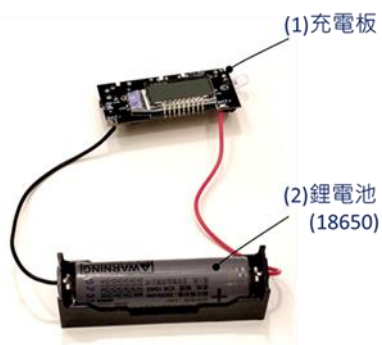


圖 11、鋰電池儲能模組實體照片



圖 12、數位轉速計

參、研究過程與方法

本研究流程圖，如圖 13 所示，在確定目標後，開始搜尋相關文獻及資料，並且規劃實驗，製作出四組渦輪機，包括一組特斯拉渦輪機(0 條螺線)以及三組使用黃金螺線流道改良的渦輪(黃金螺線渦輪)；螺線流道數量(0 條、2 條、4 條或 6 條)示意圖，如圖 14 所示。以不同壓力的氣源和水源，分別搭配三種入口角度進入渦輪機，流體入口角度(0° 、 10° 或 20°)示意圖，如圖 15 所示。利用轉速計測量轉速，比較特斯拉渦輪和改良後黃金螺線渦輪的差異與效能，探討改良後是否能如預期提高轉速，並找出最佳螺線流道數量與流體入口角度條件。以最佳條件對輪殼發電照明模組以及鋰電池儲能模組進行應用發電展示研究成果。

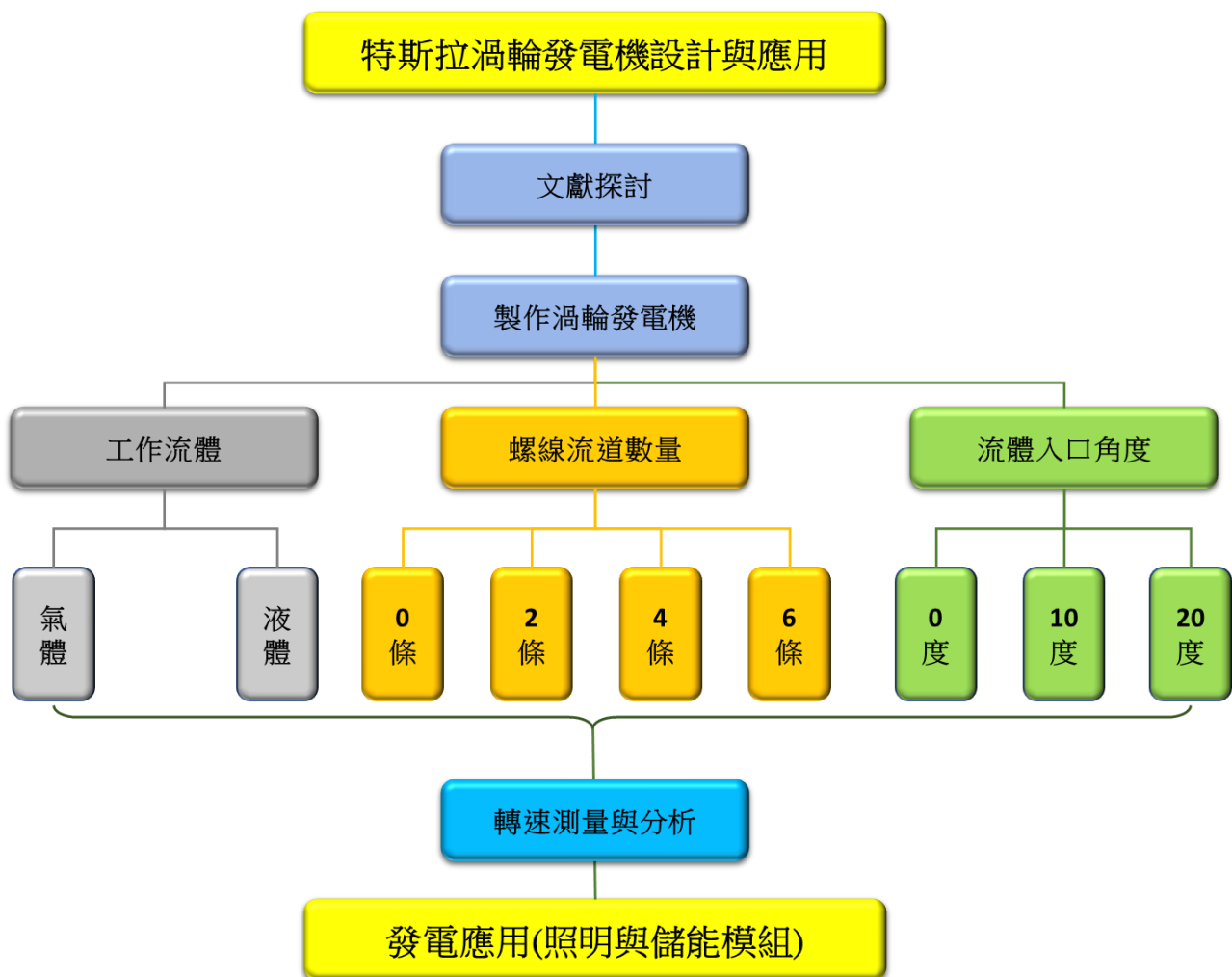
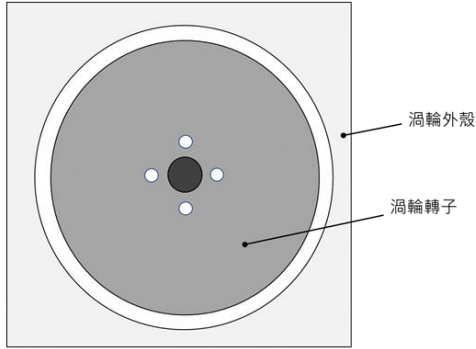
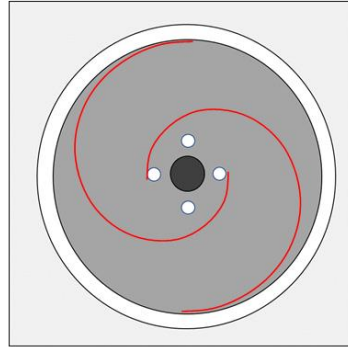


圖 13、研究流程圖

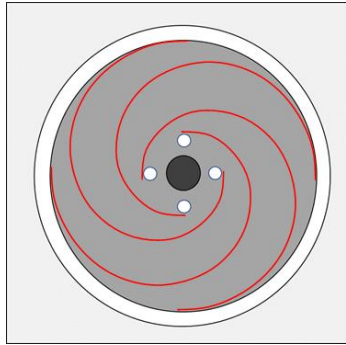
(a) 特斯拉渦輪-0條螺線流道



(b) 黃金螺線渦輪-2條螺線流道



(c) 黃金螺線渦輪-4條螺線流道



(d) 黃金螺線渦輪-6條螺線流道

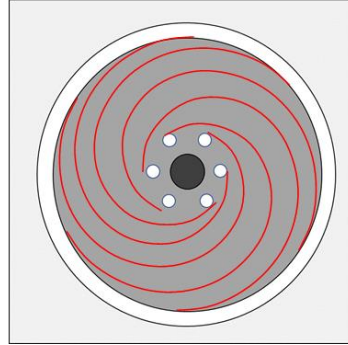


圖 14、螺線流道數量(0 條、2 條、4 條、6 條)示意圖

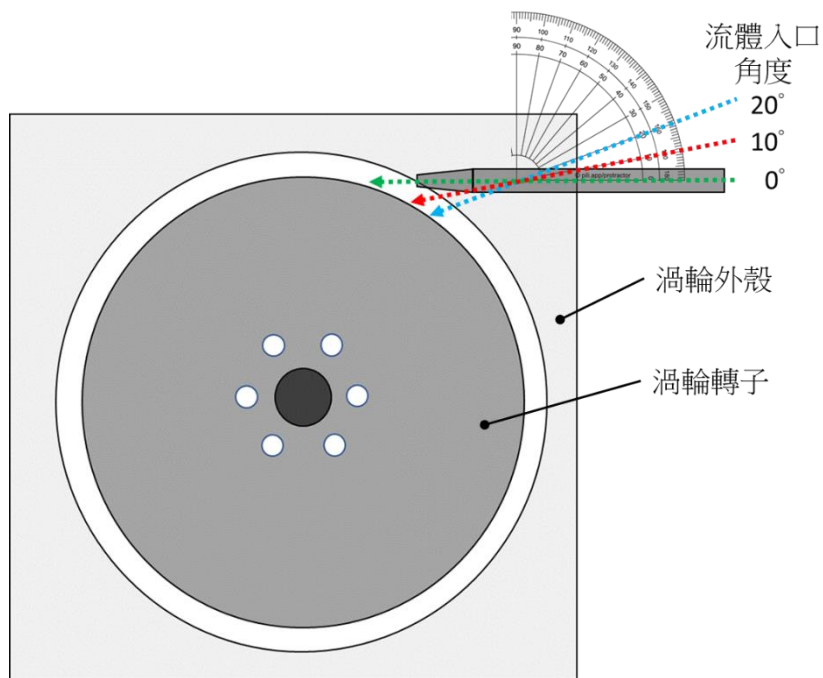


圖 15、流體入口角度(0°、10°、20°)示意圖

渦輪製作步驟，包括：(1)光碟片上鑽排氣孔、(2)光碟片置入軸心、(3) 墊片置入軸心 (重複步驟 2 及步驟 3 至完成 9 組光碟)、(4) 用 C 型扣環壓緊碟片組、(5) 確定排氣孔對齊，並將碟片與軸心固定、(6) 裝入外殼及側板、(7)讓流體由入口進入，進行渦輪轉動測試等 7 個步驟；此外，以黃金螺線進行渦輪改良時，需在每一片光碟上黏貼螺線流道，並重複步驟(2)至步驟(7)，製作流程及照片，如圖 16 所示。

特斯拉渦輪製作步驟 →

黃金螺線渦輪製作步驟 →



圖 16、製作流程及照片

肆、研究結果

當流體進入渦輪入口，帶動渦輪旋轉，以數位式轉速計量測渦輪轉速，為求實驗精確，記錄三次結果(間隔 3 分鐘記錄一次)，並計算平均值。

工作流體為氣體(空氣)的實驗，如圖 17 所示，壓力範圍為 0.50 kgw/cm^2 開始，每次以 0.25 kgw/cm^2 壓力遞增，直到 2.25 kgw/cm^2 。工作流體為液體(水)的實驗，如圖 18 所示，壓力範圍為 0.25 kgw/cm^2 開始，每次以 0.25 kgw/cm^2 壓力遞增，直到 1.50 kgw/cm^2 。

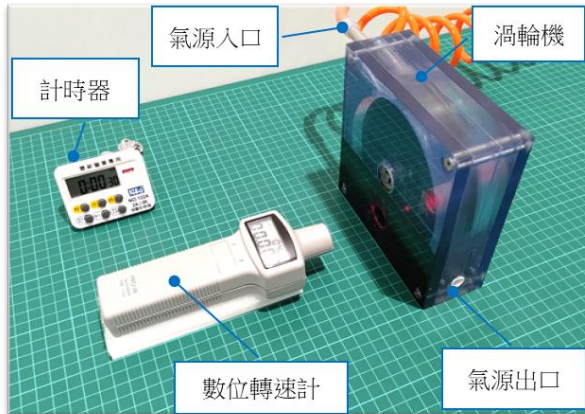


圖 17、氣體為工作流體的實驗照片

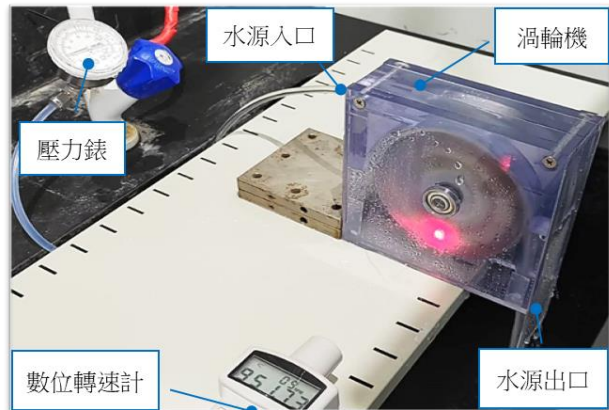


圖 18、液體為工作流體的實驗照片

一、渦輪參數探討：以空氣為工作流體

(一)、螺線數量對渦輪轉速的影響

1、入口角度：0 度

當入口角度為 0 度，螺線數量分別為 0 條、2 條、4 條或 6 條，渦輪轉速測量結果，如表 1~表 4 及圖 19 所示。結果顯示：螺線數量為 0 條時， 0.50 kgw/cm^2 氣源壓力可啟動渦輪轉動，平均轉速為 461 RPM，隨著壓力增加至 2.25 kgw/cm^2 ，平均最大轉速為 7100 RPM。螺線數量為 2 條時， 0.50 kgw/cm^2 氣源壓力，平均轉速為 257 RPM，隨著壓力增加至 2.25 kgw/cm^2 ，平均最大轉速為 7374 RPM。螺線數量為 4 條時， 0.50 kgw/cm^2 氣源壓力，平均轉速為 89 RPM，隨著壓力增加至 2.25 kgw/cm^2 ，平均最大轉速為 7502 RPM。但當螺線數量為 6 條時， 0.50 kgw/cm^2 氣源壓力無法啟動渦輪，需使用 0.75 kgw/cm^2 氣源壓力才能啟動渦輪轉動，平均轉速為 1193 RPM，隨著壓力增加至 2.25 kgw/cm^2 ，平均最大轉速為 7344 RPM。整體而言：以空氣為工作流體，入口角度為 0 度時，螺線數量 4 條及 6 條渦輪運轉為較佳的條件，優於 2 條及 0 條螺線的結果。

表 1、螺線數量 0 條渦輪轉速測量結果

螺線數量	0			
	轉速(RPM)			
壓力 (kgw/cm ²)	#1	#2	#3	平均值
0.50	427	462	493	461
0.75	611	592	576	593
1.00	734	748	756	746
1.25	1599	1535	1558	1564
1.50	2793	2786	2701	2760
1.75	4587	4539	4522	4549
2.00	6024	5953	5869	5949
2.25	6985	7259	7056	7100

表 2、螺線數量 2 條渦輪轉速測量結果

螺線數量	2			
	轉速(RPM)			
壓力 (kgw/cm ²)	#1	#2	#3	平均值
0.50	268	245	257	257
0.75	1033	936	959	976
1.00	1489	1424	1517	1477
1.25	2378	2263	2307	2316
1.50	3845	3737	3698	3760
1.75	5181	5264	5145	5197
2.00	6201	6365	6344	6303
2.25	7327	7383	7412	7374

表 3、螺線數量 4 條渦輪轉速測量結果

螺線數量	4			
	轉速(RPM)			
壓力 (kgw/cm ²)	#1	#2	#3	平均值
0.50	82	90	94	89
0.75	1228	1189	1207	1208
1.00	1756	1707	1741	1735
1.25	2730	2685	2696	2704
1.50	4217	4198	4187	4201
1.75	5345	5370	5431	5382
2.00	6451	6315	6418	6395
2.25	7483	7478	7544	7502

表 4、螺線數量 6 條渦輪轉速測量結果

螺線數量	6			
	轉速(RPM)			
壓力 (kgw/cm ²)	#1	#2	#3	平均值
0.50	0	0	0	0
0.75	1219	1183	1176	1193
1.00	1685	1628	1701	1671
1.25	2641	2604	2704	2650
1.50	4207	4327	4354	4296
1.75	5397	5272	5324	5331
2.00	6368	6328	6419	6372
2.25	7279	7384	7368	7344

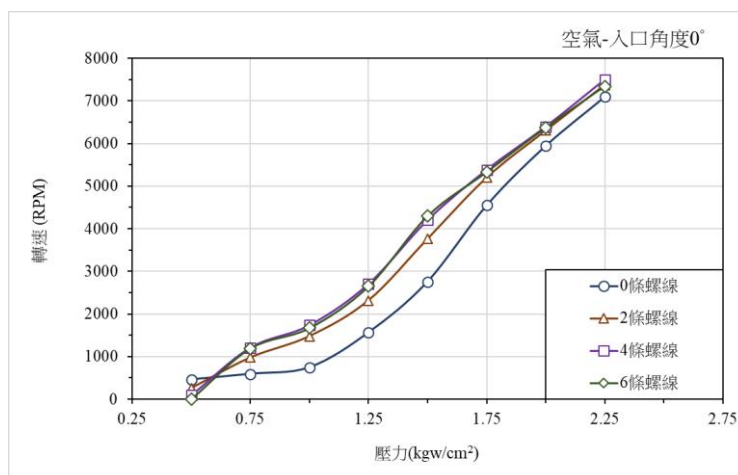


圖 19、入口角度 0 度，螺線數量對渦輪轉速的影響結果

2、入口角度 10 度

當入口角度為 10 度，螺線數量分別為 0 條、2 條、4 條或 6 條，渦輪轉速測量結果，如表 5~表 8 及圖 20 所示。結果顯示：螺線數量為 0 條時，0.50 kgw/cm² 氣源壓力可啟動渦輪轉動，平均轉速為 723 RPM，隨著壓力增加至 2.25 kgw/cm²，平均最大轉速為 8884 RPM。螺線數量為 2 條時，0.50 kgw/cm² 氣源壓力，平均轉速為 636 RPM，隨著壓力增加至 2.25 kgw/cm²，平均最大轉速為 9151 RPM。螺線數量為 4 條時，0.50 kgw/cm² 氣源壓力可啟動渦輪，平均轉速為 362 RPM，隨著壓力增加至 2.25 kgw/cm²，平均最大轉速為 9362 RPM。當螺線數量為 6 條時，0.50 kgw/cm² 氣源壓力也可啟動渦輪，平均轉速為 168 RPM，隨著壓力增加至 2.25 kgw/cm²，平均最大轉速為 9343 RPM。整體而言：以空氣為工作流體，入口角度為 10 度時，

螺線數量 4 條、6 條及 2 條渦輪運轉結果相當，略優於 0 條螺線的結果。

表 5、螺線數量 0 條渦輪轉速測量結果

螺線數量	0			
	轉速(RPM)			
壓力 (kgw/cm ²)	#1	#2	#3	平均值
0.50	693	732	744	723
0.75	1089	1116	1154	1120
1.00	1543	1513	1486	1514
1.25	2766	2899	2808	2824
1.50	4750	4839	4818	4802
1.75	6216	6361	6298	6292
2.00	7433	7689	7562	7561
2.25	8817	8946	8890	8884

表 6、螺線數量 2 條渦輪轉速測量結果

螺線數量	2			
	轉速(RPM)			
壓力 (kgw/cm ²)	#1	#2	#3	平均值
0.50	628	642	637	636
0.75	1263	1286	1307	1285
1.00	1849	1838	1883	1857
1.25	3706	3635	3678	3673
1.50	5233	5293	5341	5289
1.75	6789	6816	6807	6804
2.00	8014	8039	8113	8055
2.25	9088	9162	9204	9151

表 7、螺線數量 4 條渦輪轉速測量結果

螺線數量	4			
	轉速(RPM)			
壓力 (kgw/cm ²)	#1	#2	#3	平均值
0.50	344	365	376	362
0.75	1451	1472	1387	1437
1.00	2048	1982	2074	2035
1.25	3862	4125	3995	3994
1.50	5478	5557	5608	5548
1.75	6887	6980	7007	6958
2.00	8189	8295	8311	8265
2.25	9317	9410	9359	9362

表 8、螺線數量 6 條渦輪轉速測量結果

螺線數量	6			
	轉速(RPM)			
壓力 (kgw/cm ²)	#1	#2	#3	平均值
0.50	154	182	167	168
0.75	1509	1557	1544	1537
1.00	2134	2045	2098	2092
1.25	3889	3921	3953	3921
1.50	5469	5432	5401	5434
1.75	7059	7189	7267	7172
2.00	8277	8364	8319	8320
2.25	9471	9339	9218	9343

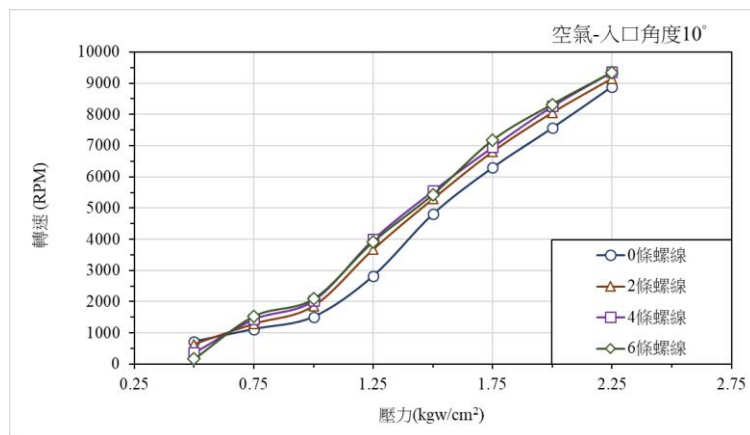


圖 20、入口角度 10 度，螺線數量對渦輪轉速的影響結果

3、入口角度 20 度

當入口角度為 20 度，螺線數量分別為 0 條、2 條、4 條或 6 條，渦輪轉速測量結果，如表 9~表 12 及圖 21 所示。結果顯示：螺線數量為 0 條時，0.50 kgw/cm² 氣源壓力可啟動渦輪轉動，平均轉速為 264 RPM，隨著壓力增加至 2.25 kgw/cm²，平均最大轉速為 8084 RPM。螺線數量為 2 條時，0.50 kgw/cm² 氣源壓力，平均轉速為 201 RPM，隨著壓力增加至 2.25 kgw/cm²，平均最大轉速為 8304 RPM。螺線數量為 4 條時，0.50 kgw/cm² 氣源壓力可啟動渦輪，平均轉速為 159 RPM，隨著壓力增加至 2.25 kgw/cm²，平均最大轉速為 8312 RPM。當螺線數量為 6 條時，0.50 kgw/cm² 氣源壓力也可啟動渦輪，平均轉速為 138 RPM，隨著壓力增加至 2.25

kgw/cm²，平均最大轉速為 8208 RPM。整體而言：以空氣為工作流體，入口角度為 20 度時，螺線數量 4 條渦輪運轉結果最佳，6 條及 2 條渦輪運轉結果相當，略優於 0 條螺線的結果。

表 9、螺線數量 0 條渦輪轉速測量結果

螺線數量	0			
	轉速(RPM)			
壓力 (kgw/cm ²)	#1	#2	#3	平均值
0.50	271	255	267	264
0.75	634	656	642	644
1.00	1120	1231	1245	1199
1.25	1954	2095	2105	2051
1.50	3761	3827	3802	3797
1.75	5590	5613	5561	5588
2.00	6899	7016	6936	6950
2.25	8220	8023	8009	8084

表 10、螺線數量 2 條渦輪轉速測量結果

螺線數量	2			
	轉速(RPM)			
壓力 (kgw/cm ²)	#1	#2	#3	平均值
0.50	193	210	201	201
0.75	1359	1407	1323	1363
1.00	1806	1657	1795	1753
1.25	2572	2687	2431	2563
1.50	4386	4458	4451	4432
1.75	5978	6039	6022	6013
2.00	7092	7298	7211	7200
2.25	8345	8257	8311	8304

表 11、螺線數量 4 條渦輪轉速測量結果

螺線數量	4			
	轉速(RPM)			
壓力 (kgw/cm ²)	#1	#2	#3	平均值
0.50	157	169	151	159
0.75	986	1006	943	978
1.00	1813	1768	1692	1758
1.25	2808	2999	2715	2841
1.50	4867	5053	4544	4821
1.75	6490	6555	6583	6543
2.00	7634	7616	7517	7589
2.25	8412	8377	8146	8312

表 12、螺線數量 6 條渦輪轉速測量結果

螺線數量	6			
	轉速(RPM)			
壓力 (kgw/cm ²)	#1	#2	#3	平均值
0.50	136	131	148	138
0.75	1068	998	1090	1052
1.00	1581	1673	1747	1667
1.25	2376	2265	2434	2358
1.50	4156	4389	4267	4271
1.75	6121	6087	5938	6049
2.00	7130	7174	7213	7172
2.25	8201	8231	8192	8208

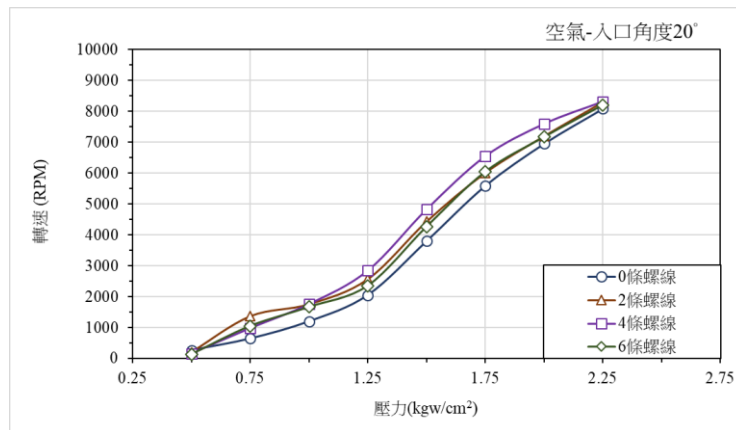


圖 21、入口角度 20 度，螺線數量對渦輪轉速的影響結果

(二)、入口角度對渦輪轉速的影響

將上述螺線數量對渦輪轉速的影響結果，分別以螺線數量為 0 條、2 條、4 條或 6 條，進行綜合比較，探討氣體入口角度對渦輪轉速的影響(圖 22)。螺線數量為 0 條時(圖 22(a))，當氣源壓力大於 0.75 kgw/cm²，入口角度為 10 度的渦輪轉速比入口角度分別為 20 度及 0 度就有明顯的差異，顯示入口角度對於渦輪轉速有明顯的影響。螺線數量為 2 條及 4 條時(圖 22(b) 及(c))，入口角度為 10 度的渦輪轉速比入口角度為 20 度，在氣源壓力大於 1.00 kgw/cm² 後出現差異；入口角度為 20 度的渦輪轉速在氣源壓力大於 1.25 kgw/cm² 後，開始優於入口角度為

0度。螺線數量為6條時(圖 22(d))，10度入口角度的渦輪轉速比20度入口角度，在氣源壓力大於 1.00 kgw/cm^2 後有明顯落差；入口角度為20度的渦輪轉速直到氣源壓力大於 1.50 kgw/cm^2 後，逐漸優於入口角度為0度。整體而言：以空氣為工作流體，入口角度為10度時，對於渦輪運轉為最佳的條件，其轉速無論是螺線數量為0條、2條、4條或6條皆高於入口角度分別20度及0度的結果。

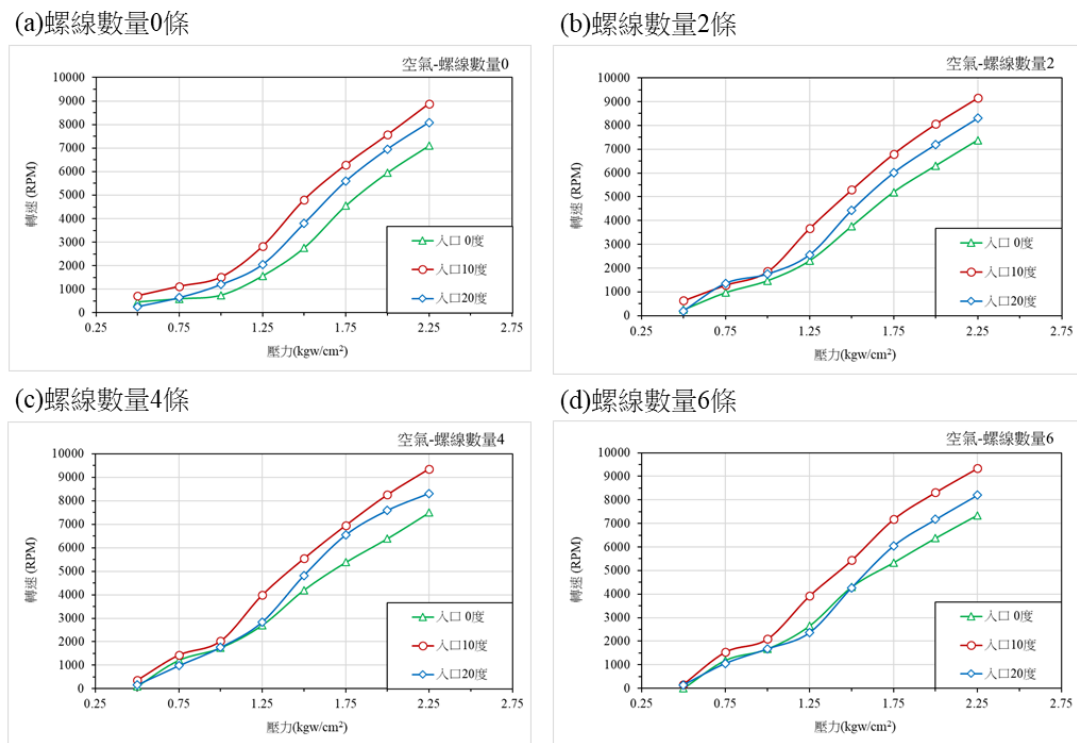


圖 22、空氣入口角度對渦輪轉速的影響結果。(a)螺線數量 0 條，
(b) 螺線數量 2 條，(c) 螺線數量 4 條，(d) 螺線數量 6 條

二、渦輪參數探討：以水為工作流體

(一)、螺線數量對渦輪轉速的影響

1、入口角度：0 度

當入口角度為0度，螺線數量分別為0條、2條、4條或6條，渦輪轉速測量結果，如表 13~表 16 及圖 23 所示。結果顯示：螺線數量為0條時， 0.25 kgw/cm^2 水源壓力可啟動渦輪轉動，平均轉速為 288 RPM，隨著壓力增加至 1.50 kgw/cm^2 ，平均最大轉速為 1505 RPM。螺線數量為2條時， 0.25 kgw/cm^2 水源壓力，平均轉速為 200 RPM，隨著壓力增加至 1.50 kgw/cm^2 ，平均最大轉速為 1558 RPM。螺線數量為4條時， 0.25 kgw/cm^2 水源壓力，平均轉速為 186 RPM，隨著壓力增加至 1.50 kgw/cm^2 ，平均最大轉速為 1555 RPM。當螺線數量為6條時， 0.25 kgw/cm^2 水源壓力，平均轉速為 177 RPM，隨著壓力增加至 1.50 kgw/cm^2 ，平均最大轉速為

1569 RPM。整體而言：以水為工作流體，入口角度為 0 度時，螺線數量 6 條、4 條及 2 條渦輪運轉結果相當，皆優於 0 條螺線的結果。

表 13、螺線數量 0 條渦輪轉速測量結果

螺線數量	0			
壓力 (kgw/cm ²)	轉速(RPM)			
	#1	#2	#3	平均值
0.25	297	280	286	288
0.50	649	654	645	649
0.75	965	976	958	966
1.00	1186	1163	1118	1156
1.25	1287	1313	1321	1307
1.50	1502	1515	1498	1505

表 14、螺線數量 2 條渦輪轉速測量結果

螺線數量	2			
壓力 (kgw/cm ²)	轉速(RPM)			
	#1	#2	#3	平均值
0.25	194	202	204	200
0.50	708	710	714	711
0.75	1087	1054	1113	1085
1.00	1265	1273	1229	1256
1.25	1432	1411	1413	1419
1.50	1554	1548	1573	1558

表 15、螺線數量 4 條渦輪轉速測量結果

螺線數量	4			
壓力 (kgw/cm ²)	轉速(RPM)			
	#1	#2	#3	平均值
0.25	176	188	193	186
0.50	812	803	799	805
0.75	1034	1058	1086	1059
1.00	1254	1248	1242	1248
1.25	1395	1403	1455	1418
1.50	1539	1551	1576	1555

表 16、螺線數量 6 條渦輪轉速測量結果

螺線數量	6			
壓力 (kgw/cm ²)	轉速(RPM)			
	#1	#2	#3	平均值
0.25	167	185	178	177
0.50	879	868	863	870
0.75	1031	1072	1112	1072
1.00	1290	1268	1232	1263
1.25	1419	1437	1424	1427
1.50	1528	1578	1601	1569

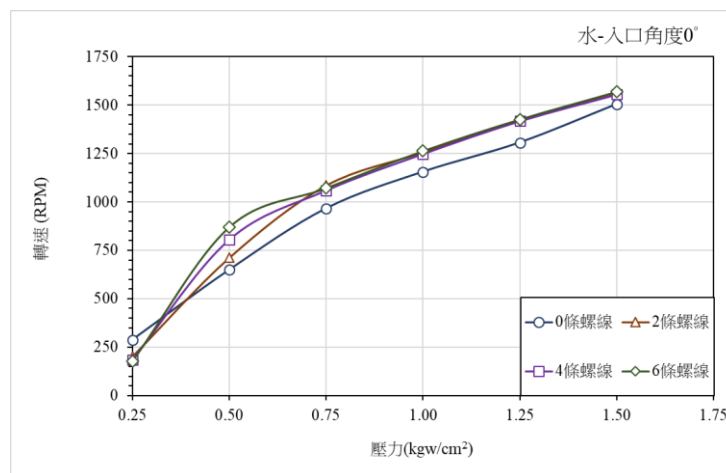


圖 23、入口角度 0 度，螺線數量對渦輪轉速的影響結果

2、入口角度：10 度

當入口角度為 10 度，螺線數量分別為 0 條、2 條、4 條或 6 條，渦輪轉速測量結果，如表 17~表 20 及圖 24 所示。結果顯示：螺線數量為 0 條時，0.25 kgw/cm² 水源壓力可啟動渦輪轉動，平均轉速為 185 RPM，隨著壓力增加至 1.50 kgw/cm²，平均最大轉速為 1311 RPM。螺線數量為 2 條時，0.25 kgw/cm² 水源壓力，平均轉速為 192 RPM，隨著壓力增加至 1.50 kgw/cm²，平均最大轉速為 1323 RPM。螺線數量為 4 條時，0.25 kgw/cm² 水源壓力，平均轉速為 189 RPM，隨著壓力增加至 1.50 kgw/cm²，平均最大轉速為 1303 RPM。當螺線數量為 6 條時，0.25

kgw/cm² 水源壓力，平均轉速為 186 RPM，隨著壓力增加至 1.50 kgw/cm²，平均最大轉速為 1211 RPM。整體而言：以水為工作流體，入口角度為 10 度時，螺線數量 4 條渦輪運轉結果最佳，2 條及 0 條螺線運轉的結果相當，略優於 6 條螺線的結果。

表 17、螺線數量 0 條渦輪轉速測量結果

螺線數量	0			
	轉速(RPM)			
	#1	#2	#3	平均值
壓力 (kgw/cm ²)				
0.25	173	186	195	185
0.50	369	383	392	381
0.75	794	806	801	800
1.00	996	1008	1033	1012
1.25	1104	1155	1201	1153
1.50	1337	1306	1291	1311

表 18、螺線數量 2 條渦輪轉速測量結果

螺線數量	2			
	轉速(RPM)			
	#1	#2	#3	平均值
壓力 (kgw/cm ²)				
0.25	184	192	201	192
0.50	513	508	502	508
0.75	877	892	845	871
1.00	1073	1082	1117	1091
1.25	1205	1163	1178	1182
1.50	1316	1323	1330	1323

表 19、螺線數量 4 條渦輪轉速測量結果

螺線數量	4			
	轉速(RPM)			
	#1	#2	#3	平均值
壓力 (kgw/cm ²)				
0.25	186	193	189	189
0.50	634	654	684	657
0.75	921	913	964	933
1.00	1074	1044	1055	1058
1.25	1263	1190	1169	1207
1.50	1319	1301	1289	1303

表 20、螺線數量 6 條渦輪轉速測量結果

螺線數量	6			
	轉速(RPM)			
	#1	#2	#3	平均值
壓力 (kgw/cm ²)				
0.25	178	192	187	186
0.50	553	562	562	559
0.75	808	803	799	803
1.00	926	949	957	944
1.25	1072	1088	1104	1088
1.50	1230	1213	1189	1211

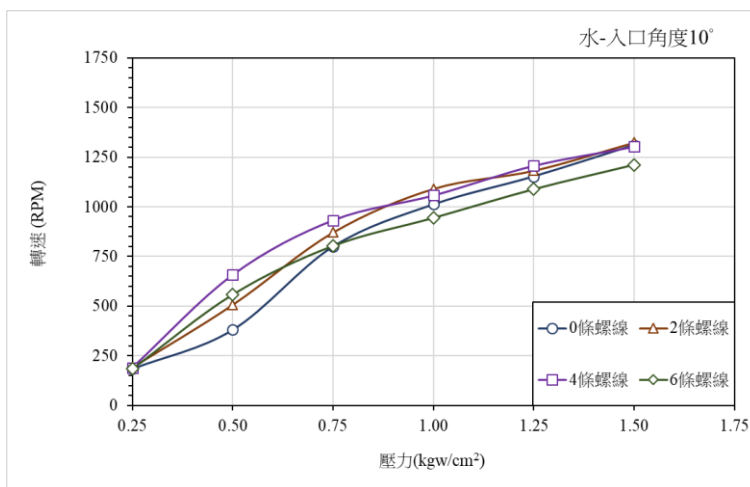


圖 24、入口 10 度，螺線數量對渦輪轉速的影響結果

3、入口角度：20 度

當入口角度為 20 度，螺線數量分別為 0 條、2 條、4 條或 6 條，渦輪轉速測量結果，如表 21~表 24 及圖 25 所示。結果顯示：螺線數量為 0 條時，需以 0.50 kgw/cm² 水源壓力才能啟動渦輪轉動，平均轉速為 220 RPM，隨著壓力增加至 1.50 kgw/cm²，平均最大轉速為 966 RPM。螺線數量為 2 條時，0.50 kgw/cm² 水源壓力，平均轉速為 238 RPM，隨著壓力增加至 1.50 kgw/cm²，平均最大轉速為 977 RPM。螺線數量為 4 條時，0.50 kgw/cm² 水源壓力，平均

轉速為 241 RPM，隨著壓力增加至 1.50 kgw/cm²，平均最大轉速為 986 RPM。當螺線數量為 6 條時，0.50 kgw/cm² 水源壓力，平均轉速為 304 RPM，隨著壓力增加至 1.50 kgw/cm²，平均最大轉速為 915 RPM。整體而言：以水為工作流體，入口角度為 20 度時，0 條、2 條、4 條及 6 條，渦輪轉速測量結果沒有明顯的差異。

表 21、螺線數量 0 條渦輪轉速測量結果

螺線數量	0			
	轉速(RPM)			
	#1	#2	#3	平均值
壓力 (kgw/cm ²)				
0.25	0	0	0	0
0.50	208	222	231	220
0.75	584	560	542	562
1.00	743	758	763	755
1.25	892	889	872	884
1.50	963	975	959	966

表 22、螺線數量 2 條渦輪轉速測量結果

螺線數量	2			
	轉速(RPM)			
	#1	#2	#3	平均值
壓力 (kgw/cm ²)				
0.25	0	0	0	0
0.50	242	233	239	238
0.75	601	612	604	606
1.00	781	787	796	788
1.25	884	885	896	888
1.50	967	987	978	977

表 23、螺線數量 4 條渦輪轉速測量結果

螺線數量	4			
	轉速(RPM)			
	#1	#2	#3	平均值
壓力 (kgw/cm ²)				
0.25	0	0	0	0
0.50	232	242	248	241
0.75	671	660	654	662
1.00	791	788	786	788
1.25	893	895	906	898
1.50	981	986	991	986

表 24、螺線數量 6 條渦輪轉速測量結果

螺線數量	6			
	轉速(RPM)			
	#1	#2	#3	平均值
壓力 (kgw/cm ²)				
0.25	0	0	0	0
0.50	299	306	307	304
0.75	592	586	580	586
1.00	724	732	736	731
1.25	851	843	839	844
1.50	917	926	902	915

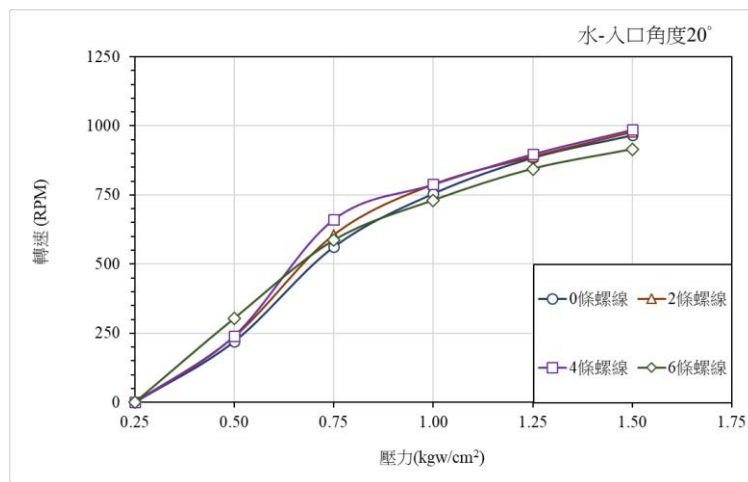


圖 25、入口角度 20 度，螺線數量對渦輪轉速的影響結果

(二)、入口角度對渦輪轉速的影響

將上述螺線數量對渦輪轉速的影響結果，分別以螺線數量為 0 條、2 條、4 條或 6 條，進行綜合比較，探討液體入口角度對渦輪轉速的影響(圖 26)。由結果顯示：當 0.25 kgw/cm² 水源壓力，在入口角度 20 時，無論螺線數量(0 條、2 條、4 條或 6 條)，皆無法順利啟動渦輪；當水源壓力大於 0.50 kgw/cm²，入口角度對於渦輪轉速，在任何水源壓力皆有明顯差異性。整

體而言：以水為工作流體，入口角度為 0 度時，對於渦輪運轉為最佳的條件，其轉速無論是螺線數量為 0 條、2 條、4 條或 6 條皆高於入口角度分別 10 度及 20 度的結果。

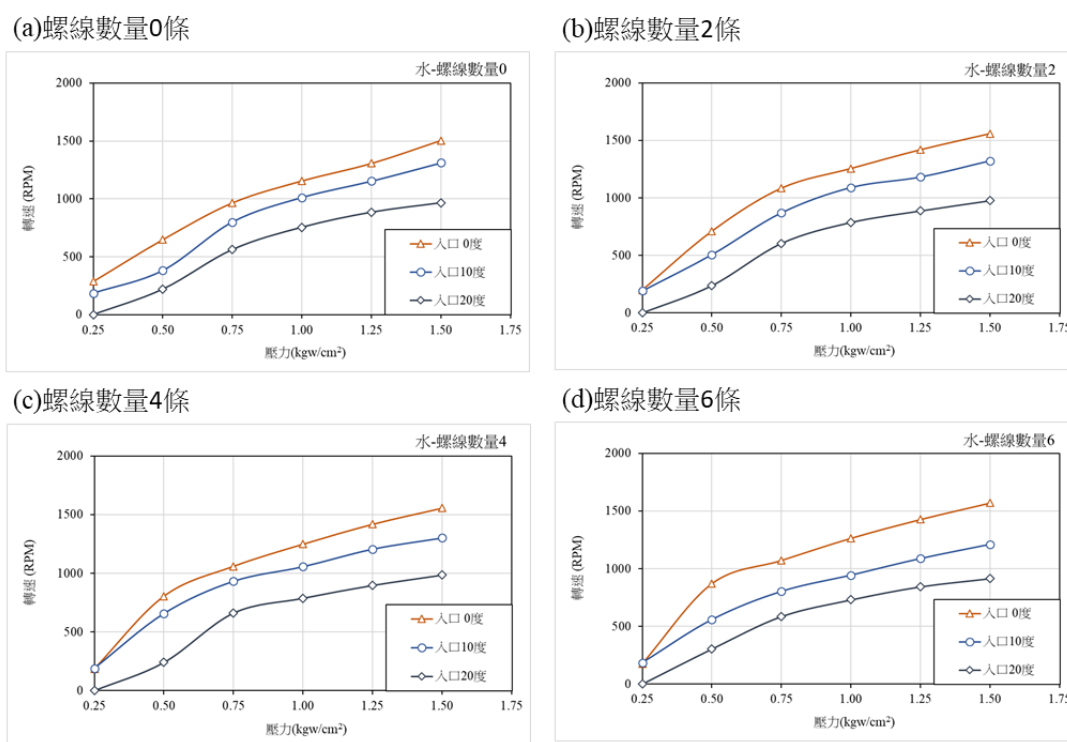


圖 26、水入口角度對渦輪轉速的影響結果。(a)螺線數量 0 條，
(b) 螺線數量 2 條，(c) 螺線數量 4 條，(d) 螺線數量 6 條

三、特斯拉渦輪發電應用

(一)、輪轂發電照明模組應用

分別以 0.75 kgw/cm^2 、 1.00 kgw/cm^2 、 1.25 kgw/cm^2 、 1.50 kgw/cm^2 、 1.75 kgw/cm^2 及 2.00 kgw/cm^2 共六種氣源壓力進行渦輪驅動輪轂發電照明模組進行應用實證(圖 27)，由觀測投射於尺規板上的亮度可發現：隨著氣源壓力增加，渦輪轉速及 LED 燈的亮度也隨之增加(圖 28(a)~(c))；當氣源壓力達 1.25 kgw/cm^2 時，照明模組已達到最大亮度(圖 28(c))，而後雖然氣源壓力繼續增加，LED 燈的亮度也不再隨之提升(圖 28(d)~(f))。

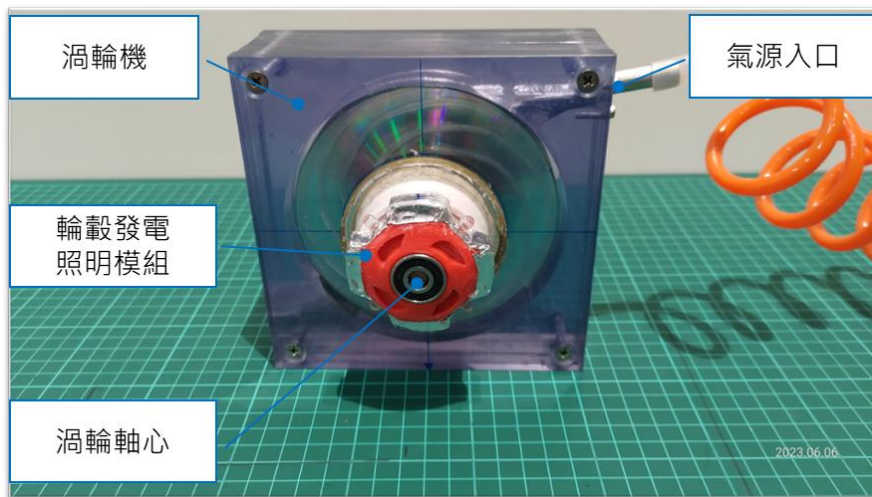
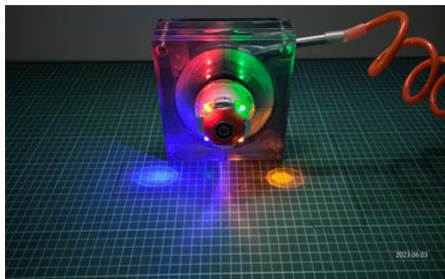
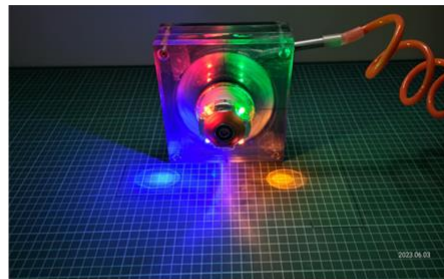


圖 27、輪轂發電照明模組應用實體照片

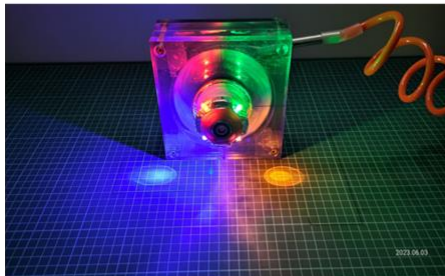
(a) 氣源壓力：0.75kgw/cm²



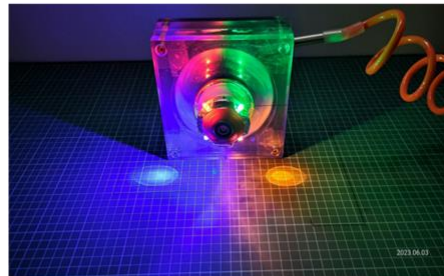
(b) 氣源壓力：1.00kgw/cm²



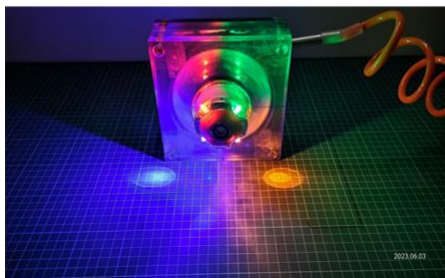
(c) 氣源壓力：1.25kgw/cm²



(d) 氣源壓力：1.50kgw/cm²



(e) 氣源壓力：1.75kgw/cm²



(f) 氣源壓力：2.00kgw/cm²

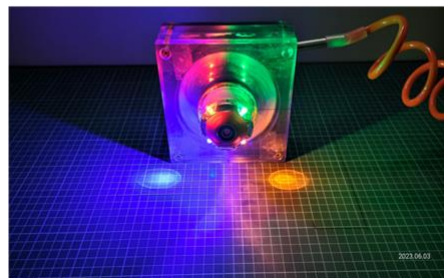


圖 28、輪轂發電照明模組在不同氣源壓力下亮度的差異表現

(二)、鋰電池儲能模組應用

以氣源壓力 $0.75 \text{ kgw/cm}^2 \sim 2.00 \text{ kgw/cm}^2$ 進行渦輪驅動，帶動直流發電機，如圖 29(a)所示；當氣源壓力為 0.75 kgw/cm^2 時，可啟動渦輪，隨著氣體壓力的增加發電機產生的電壓也隨之提高；當氣源壓力達 1.00 kgw/cm^2 時，發電機可產生電壓約為 20 V_{DC} ；當氣源壓力達 1.25 kgw/cm^2 時，發電機可產生電壓為約 25 V_{DC} ，當氣源壓力達 1.50 kgw/cm^2 時，發電機可產生電壓為約 30 V_{DC} ；當氣源壓力達 1.75 kgw/cm^2 時，發電機可產生電壓為約 35 V_{DC} ；當氣源壓力達 2.00 kgw/cm^2 時，發電機可產生最大電壓約為 $40.9 \text{ V}_{\text{DC}}$ ，如圖 29(b)所示；透過電壓轉換器，穩定輸出 $5.9 \text{ V}_{\text{DC}}$ ，如圖 29(c)所示；透過 USB 接頭與充電模組連接，對鋰電池(18650)進行充電，如圖 29(d)所示。

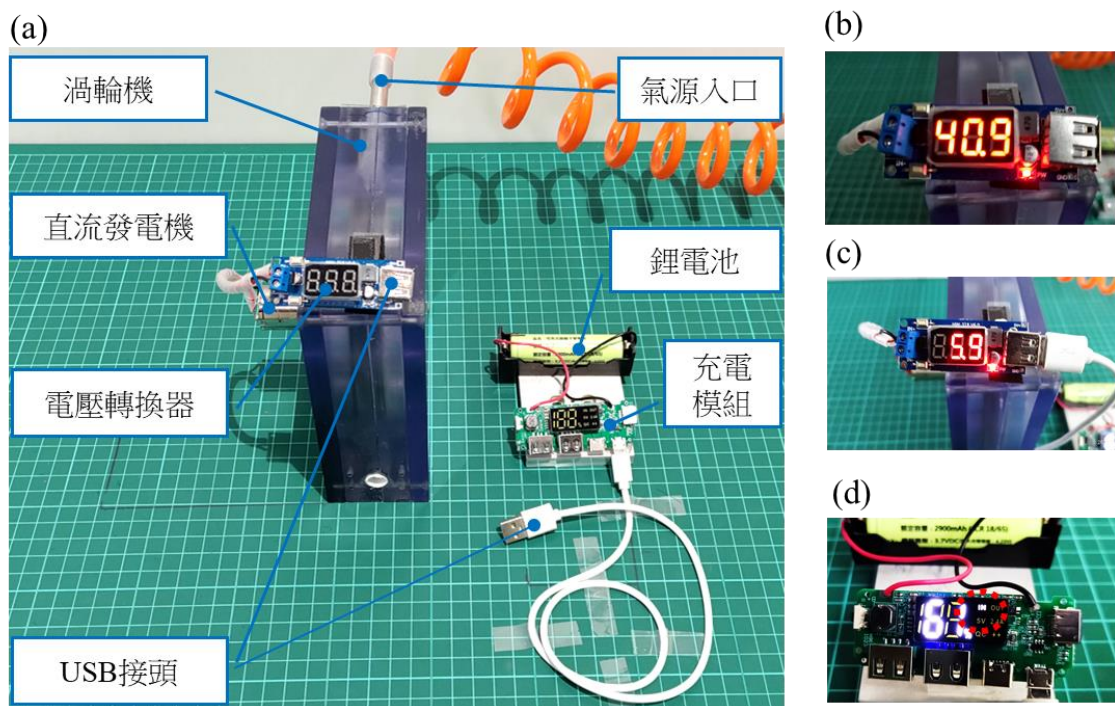


圖 29、鋰電池儲能模組應用實體照片

伍、討論

經上述實驗結果，比較特斯拉渦輪與黃金螺線渦輪轉速，採用轉速提升率進行螺線改良的轉速提升效果比較。轉速提升率定義(如式(1))：

$$\text{轉速提升率}\% = \frac{(\text{黃金螺線渦輪轉速}-\text{特斯拉渦輪轉速})}{\text{特斯拉渦輪轉速}} \dots\dots\dots(1)$$

一、以空氣為工作流體

以空氣為工作流體實驗結果彙整，如表 25 及圖 30 所示。入口角度為 0 度(表 25(a)及圖 30(a))時，螺線數量分別為 2 條、4 條及 6 條與特斯拉渦輪(0 條螺線)進行比較，以 0.75 kgw/cm² 壓力推動渦輪，轉速提升率依序為-44%、-81%及-100%，隨著壓力增加，壓力 1.00 kgw/cm² 時，轉速提升率為最高，依序為 98%、133%及 124%，當壓力繼續增加，轉速提升率明顯下降，當壓力達到本實驗中最高壓力值：2.25 kgw/cm²，轉速提升率分別下降至 4%、6%及 3%。入口角度為 10 度(表 25(b)及圖 30(b))時，螺線數量分別為 2 條、4 條及 6 條與特斯拉渦輪(0 條螺線)進行比較，以 0.75 kgw/cm² 壓力推動渦輪，當時，轉速提升率依序為-12%、-50%及-77%，隨著壓力增加，壓力 1.25 kgw/cm² 時，轉速提升率為最高，依序為 30%、41%及 39%，當壓力繼續增加，轉速提升率明顯下降，當壓力達到本實驗中最高壓力值：2.25 kgw/cm²，轉速提升率分別下降至 3%、5%及 5%。入口角度為 20 度(表 25(c)及圖 30(c))時，螺線數量分別為 2 條、4 條及 6 條與特斯拉渦輪(0 條螺線)進行比較，以 0.75 kgw/cm² 壓力推動渦輪，當螺線數量分別為 2 條、4 條及 6 條時，轉速提升率依序為-24%、-40%及-48%，隨著壓力增加，壓力 0.75 kgw/cm² 時，轉速提升率為最高，依序為 112%、52%及 63%，當壓力繼續增加，轉速提升率明顯下降，當壓力達到本實驗中最高壓力值：2.25 kgw/cm²，轉速提升率分別下降至 3%、3%及 2%。

整體而言，渦輪在剛啟動時特斯拉渦輪(0 條螺線)皆高於黃金螺線渦輪，且螺線數量越多越難被啟動，主因為黃金螺線流道增加了渦輪重量，渦輪啟動需克服摩擦力；以及螺線數量越多，碟片被區分成越多區域，造成流體出現不連續性的與碟片接觸而降低了推力。當壓力大於 0.75 kgw/cm² 時克服了上述兩個問題，黃金螺線渦輪轉速隨之大幅增加，在氣源壓力為 0.75 kgw/cm²~1.25 kgw/cm² 間具有顯著的轉速提升效果；氣源壓力為 1.00 kgw/cm² 時，採用 4 條螺線，搭配 0 度入口，轉速為 1735 RPM，相較特斯拉渦輪轉速 746 RPM，轉速提升 133%。但當在氣源壓力大於 1.50 kgw/cm² 時，渦輪達到高轉速時，流體已不需流道引導就能以螺旋形式流動，故轉速提升率下降至與特斯拉渦輪原設計相當。

表 25、特斯拉渦輪與黃金螺線渦輪轉速比較(空氣)

(a)空氣-入口角度0°

螺線數量	2			4		6	
壓力 (kgw/cm ²)	平均轉速 (RPM)	平均轉速 (RPM)	轉速提升率 (%)	平均轉速 (RPM)	轉速提升率 (%)	平均轉速 (RPM)	轉速提升率 (%)
0.50	461	257	-44	89	-81	0	-100
0.75	593	976	65	1208	104	1193	101
1.00	746	1477	98	1735	133	1671	124
1.25	1564	2316	48	2704	73	2650	69
1.50	2760	3760	36	4201	52	4296	56
1.75	4549	5197	14	5382	18	5331	17
2.00	5949	6303	6	6395	7	6372	7
2.25	7100	7374	4	7502	6	7344	3

(b)空氣-入口角度10°

螺線數量	2			4		6	
壓力 (kgw/cm ²)	平均轉速 (RPM)	平均轉速 (RPM)	轉速提升率 (%)	平均轉速 (RPM)	轉速提升率 (%)	平均轉速 (RPM)	轉速提升率 (%)
0.50	723	636	-12	362	-50	168	-77
0.75	1120	1285	15	1437	28	1537	37
1.00	1514	1857	23	2035	34	2092	38
1.25	2824	3673	30	3994	41	3921	39
1.50	4802	5289	10	5548	16	5434	13
1.75	6292	6804	8	6958	11	7172	14
2.00	7561	8055	7	8265	9	8320	10
2.25	8884	9151	3	9362	5	9343	5

(c)空氣-入口角度20°

螺線數量	2			4		6	
壓力 (kgw/cm ²)	平均轉速 (RPM)	平均轉速 (RPM)	轉速提升率 (%)	平均轉速 (RPM)	轉速提升率 (%)	平均轉速 (RPM)	轉速提升率 (%)
0.50	264	201	-24	159	-40	138	-48
0.75	644	1363	112	978	52	1052	63
1.00	1199	1753	46	1758	47	1667	39
1.25	2051	2563	25	2841	38	2358	15
1.50	3797	4432	17	4821	27	4271	12
1.75	5588	6013	8	6543	17	6049	8
2.00	6950	7200	4	7589	9	7172	3
2.25	8084	8304	3	8312	3	8208	2

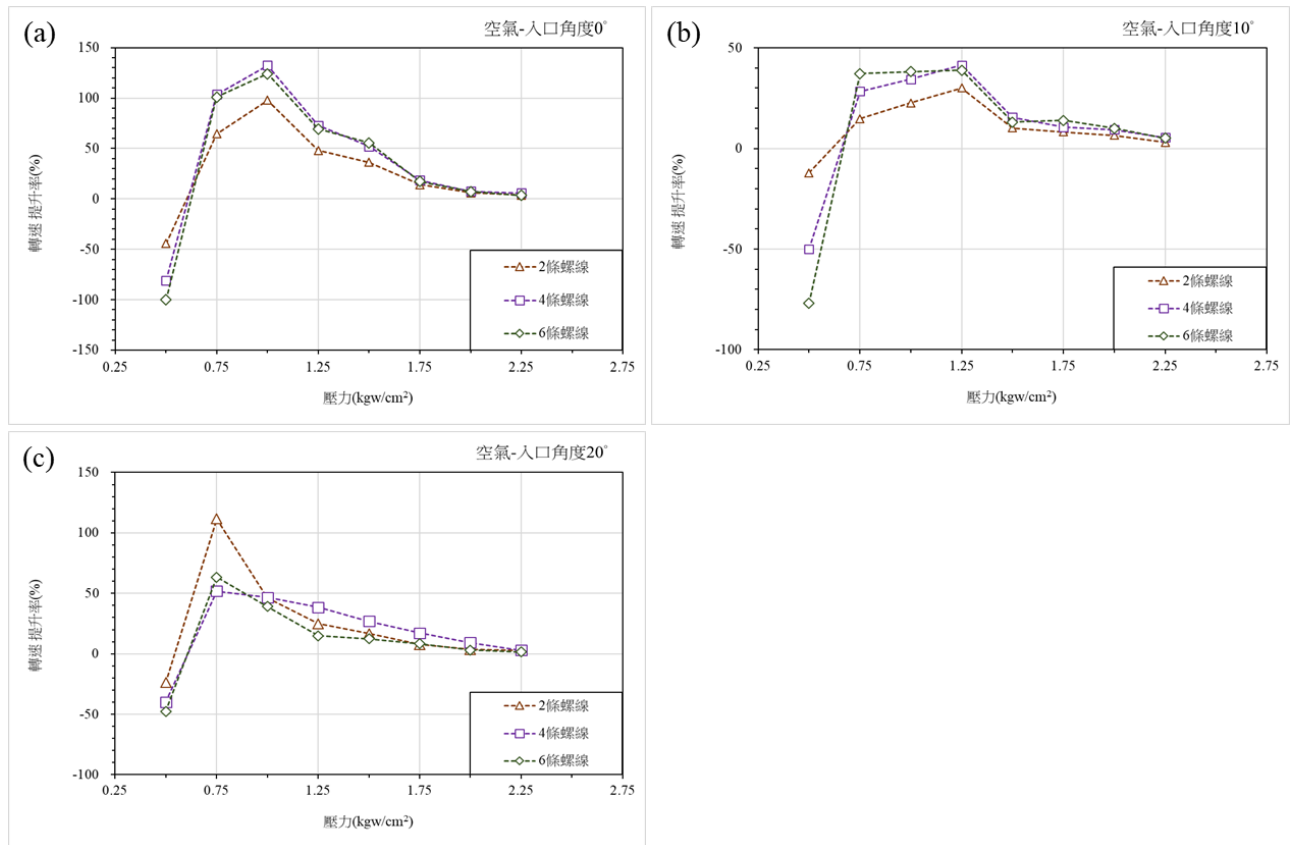


圖 30、黃金螺線渦輪相較特斯拉渦輪轉速提升率(空氣)

二、以水為工作流體

以水為工作流體實驗結果彙整，如表 26 及圖 31 所示。入口角度為 0 度(表 26(a)及圖 31(a))時，螺線數量分別為 2 條、4 條及 6 條與特斯拉渦輪(0 條螺線)進行比較，以 0.25 kgw/cm² 壓力推動渦輪，轉速提升率依序為-30%、-35%及-39%，隨著壓力增加，壓力為

0.50 kgw/cm²時，4 條及 6 條螺線轉速提升率為最高，分別為 24%和 34%，壓力為 0.75 kgw/cm²時，2 條螺線轉速提升率為最高(12%)，當壓力繼續增加，轉速提升率明顯下降，當壓力達到本實驗中最高壓力值：1.50 kgw/cm²，轉速提升率分別下降至 4%、3%及 4%。入口角度為 10 度(表 26(b)及圖 31(b))時，螺線數量分別為 2 條、4 條及 6 條與特斯拉渦輪(0 條螺線)進行比較，以 0.25 kgw/cm² 壓力推動渦輪，轉速提升率依序為 4%、3%及 1%，隨著壓力增加，壓力 0.50 kgw/cm²時，轉速提升率為最高，依序為 33%、72%及 47%，當壓力繼續增加，轉速提升率明顯下降，當壓力達到本實驗中最高壓力值：1.50 kgw/cm²，轉速提升率分別下降至 1%、-1%及-8%，其中 6 條螺線在 0.75 kgw/cm²時，轉速提升率就已下降為 0。入口角度為 20 度(表 26(c)及圖 31(c))時，螺線數量分別為 2 條、4 條及 6 條與特斯拉渦輪(0 條螺線)進行比較，需以 0.50kgw/cm² 壓力才可推動渦輪，當螺線數量分別為 2 條、4 條及 6 條時，轉速提升率依序為 8%、9%及 38%，其中 2 條和 6 條螺線轉速提升率已達到最高，4 條螺線轉速提升率最高則為 0.75 kgw/cm²時的 18%，當壓力繼續增加，轉速提升率下降至接近 0，1.00 kgw/cm²時，轉速提升率分別為 4%、4%及-3%，壓力持續下降，轉速提升率無明顯變化。

以水為工作流體實驗結果與氣體大致相同，轉速提升率在低壓力流體進入時較高，隨之下降，當水源壓力為 0.50 kgw/cm²時，採用 4 條螺線流道，搭配 10 度入口，轉速為 657 RPM，相較特斯拉渦輪轉速 381 RPM，轉速提升 72%。整體而言，水為工作流體轉速卻無法達到至以空氣為工作流體相同的高轉速。實驗過程中發現在流體入口與轉子間出現大量氣泡，造成工作流體無法順利進入碟片間隙中形成推力。為了確定流體入口與轉子間出現大量氣泡是流場紊亂造成，進行水源壓力與體積流率量測實驗，如圖 32 所示，並計算雷諾數；依據雷諾數的定義(如式(2))[10]：

$$\text{雷諾數}(Re) = \frac{(\text{流體密度} \times \text{流體速度} \times \text{入口管徑})}{\text{流體黏度}} \dots\dots\dots(2)$$

分別以 0.25 kgw/cm²、0.50 kgw/cm²、0.75 kgw/cm²、1.00 kgw/cm²、1.25 kgw/cm² 及 1.50 kgw/cm² 的水源壓力注入 3000 ml 量筒中，量測水源注入 3000 ml 所需時間進行雷諾數(Re)分析。水的密度(20°C)為 1000 kg/m³，水的黏度(20°C)為 1×10⁻³ Pa·s，水源入口管徑為 7.4×10⁻³ m。實際量測及計算如表 7 及圖 33；在 0.25 kgw/cm² 雷諾數(Re)為 6884，隨著壓力越大，雷諾數也越大，到 1.50 kgw/cm² 雷諾數(Re)為 25814，皆遠大於 4000 屬於紊流，證明流體於入口處已是紊亂的流場，嚴重影響工作流體運行，後續可以將碟片間距放大，或進行流體入口結構設計，以改善液體(水)進入碟間的情況，進行深入探討，獲得更完整結果。

表 26、特斯拉渦輪與黃金螺線渦輪轉速比較(水)

(a)水-入口角度0°

螺線數量	2			4		6	
	壓力 (kgw/cm ²)	平均轉速 (RPM)	轉速提升率 (%)	平均轉速 (RPM)	轉速提升率 (%)	平均轉速 (RPM)	轉速提升率 (%)
0.25	288	200	-30	186	-35	177	-39
0.50	649	711	9	805	24	870	34
0.75	966	1085	12	1059	10	1072	11
1.00	1156	1256	9	1248	8	1263	9
1.25	1307	1419	9	1418	8	1427	9
1.50	1505	1558	4	1555	3	1569	4

(b)水-入口角度10°

螺線數量	2			4		6	
	壓力 (kgw/cm ²)	平均轉速 (RPM)	轉速提升率 (%)	平均轉速 (RPM)	轉速提升率 (%)	平均轉速 (RPM)	轉速提升率 (%)
0.25	185	192	4	189	3	186	1
0.50	381	508	33	657	72	559	47
0.75	800	871	9	933	17	803	0
1.00	1012	1091	8	1058	4	944	-7
1.25	1153	1182	2	1207	5	1088	-6
1.50	1311	1323	1	1303	-1	1211	-8

(c)水-入口角度20°

螺線數量	2			4		6	
	壓力 (kgw/cm ²)	平均轉速 (RPM)	轉速提升率 (%)	平均轉速 (RPM)	轉速提升率 (%)	平均轉速 (RPM)	轉速提升率 (%)
0.25	0	0	-	0	-	0	-
0.50	220	238	8	241	9	304	38
0.75	562	606	8	662	18	586	4
1.00	755	788	4	788	4	731	-3
1.25	884	888	0	898	2	844	-5
1.50	966	977	1	986	2	915	-5

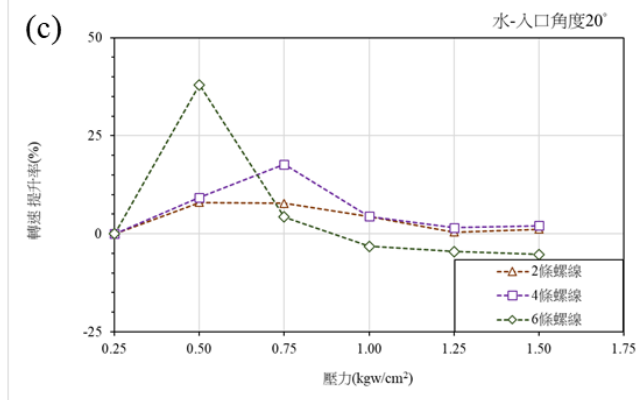
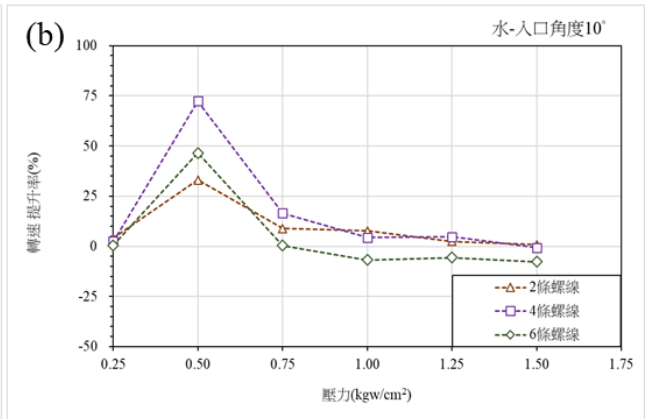
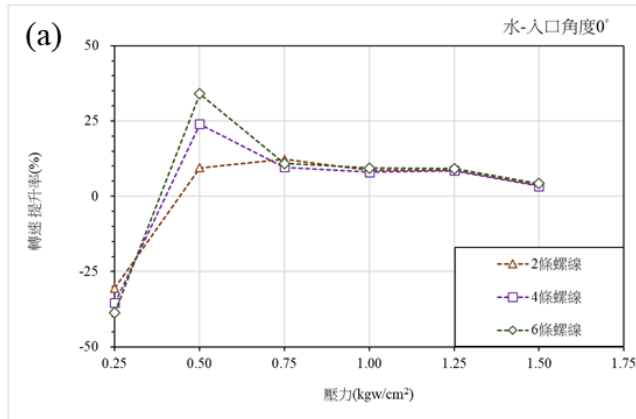


圖 31、黃金螺線渦輪相較特斯拉渦輪轉速提升率(水)

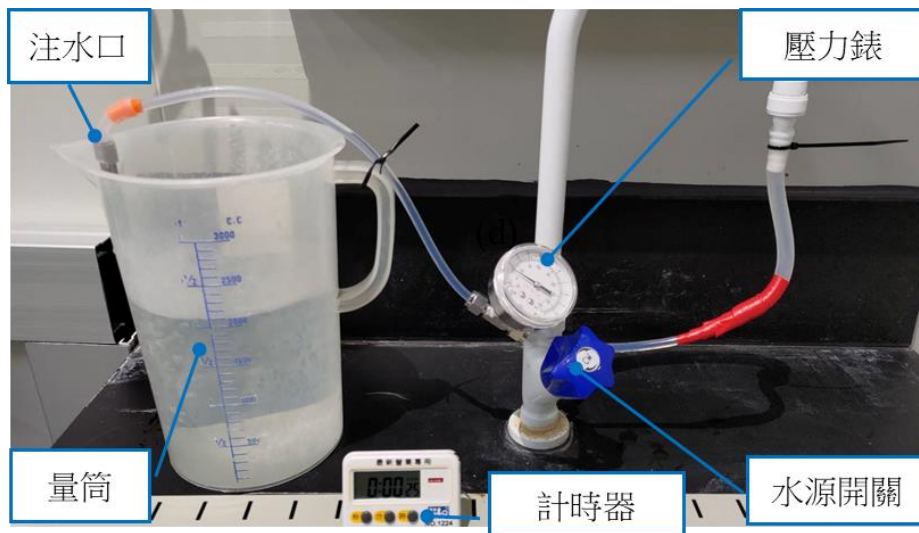


圖 32、水源壓力相對體積流率量測實驗照片

表 27、水源壓力相對雷諾數計算結果

壓力 (kgw/cm ²)	時間 (s)	入口管徑面積 ×10 ⁻⁵ (m ²)	體積流率 ×10 ⁻⁵ (m ³ /s)	流速 (m/s)	雷諾數 (Re)
0.25	75	4.3	4.0	0.93	6,884
0.50	46	4.3	6.5	1.52	11,223
0.75	38	4.3	7.9	1.84	13,586
1.00	32	4.3	9.4	2.18	16,134
1.25	26	4.3	11.5	2.68	19,857
1.50	20	4.3	15.0	3.49	25,814

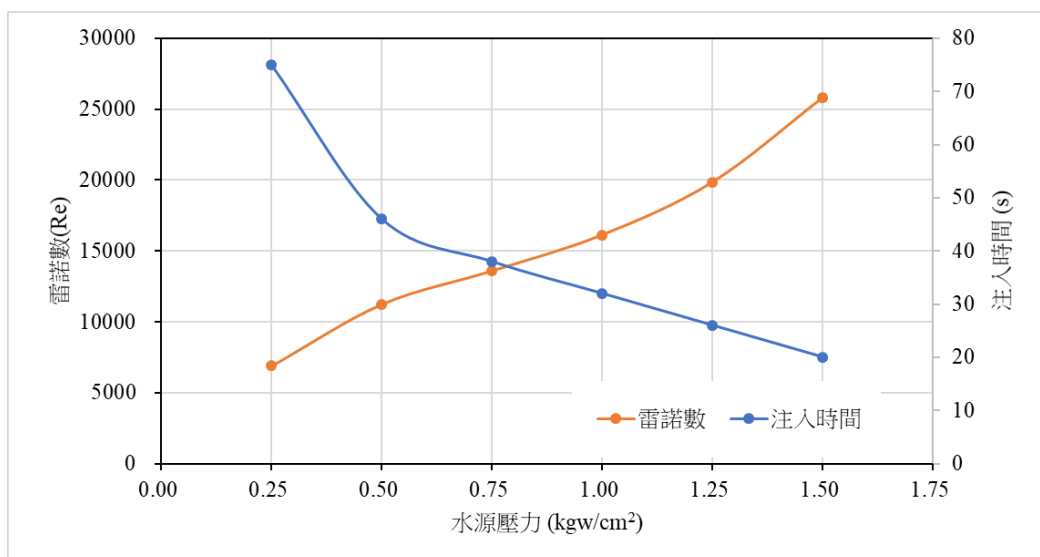


圖 33、水源壓力與流體入口雷諾數關係圖

陸、結論

本研究利用家中廢棄光碟片設計及製作出可以使用風力及水力進行轉動的特斯拉渦輪機，並成功學習大自然黃金螺線進行特斯拉渦輪改良；探討以不同螺線數量的渦輪改良與特斯拉渦輪原設計(無螺線結構)的轉動速率比較；以及找出流體推動渦輪的最佳入口角度。並以最佳設計參數條件應用，進行特斯拉渦輪發電機實際應用，透過黃金螺線流道引導，可以有效提升在低壓力流體的渦輪轉速。

以空氣為工作流體實驗結果顯示：當壓力大於 0.75 kgw/cm^2 時，黃金螺線渦輪轉速隨之大幅增加，具有顯著的轉速提升效果；氣源壓力為 1.00 kgw/cm^2 時，採用 4 條螺線，搭配 0 度入口，轉速為 1735 RPM，相較特斯拉渦輪轉速 746 RPM，轉速提升 133%。但當在氣源壓力大於 1.50 kgw/cm^2 時，渦輪達到高轉速時，流體已不需流道引導就能以螺旋形式流動，故轉速與特斯拉渦輪原設計相當。

以水為工作流體實驗結果與氣體大致相同，轉速提升率在低壓力流體進入時較高，隨之下降，當水源壓力為 0.50 kgw/cm^2 時，採用 4 條螺線流道，搭配 10 度入口，轉速為 657 RPM，相較特斯拉渦輪轉速 381 RPM，轉速提升 72%。整體而言，水為工作流體轉速卻無法達到至以空氣為工作流體相同的高轉速。實驗過程發現流體入口雷諾數($Re=6884\sim 25814$)皆遠大於 4000 屬於紊流，嚴重影響工作流體運行，於入口與轉子間出現大量氣泡，造成工作流體無法順利進入碟片間隙中形成推力，後續可以將碟片間距放大，或進行流體入口結構設計，以改善液體(水)進入碟間的情況，進行深入探討，獲得更完整結果。

本研究以 $0.75 \text{ kgw/cm}^2\sim 2.00 \text{ kgw/cm}^2$ 壓力氣源，流體入口角度為 10 度，進行輪轂發電照明模組驅動，隨著壓力提升渦輪轉速越快 LED 燈照明模組越亮，當氣源壓力為大於 1.25 kgw/cm^2 以上時，LED 燈的亮度不再隨著壓力提升而增加，可應用於植物工廠的 LED 植物生長燈；另以 $0.75 \text{ kgw/cm}^2\sim 2.00 \text{ kgw/cm}^2$ 壓力氣源，流體入口角度為 10 度，帶動直流發電機轉動，在 2.00 kgw/cm^2 壓力氣源可最大產生 40.9 V_{DC} ，並以電壓轉換器將電力轉為 5.9 V_{DC} 對鋰電池進行充電，成功展示特斯拉渦輪發電機效果，未來可應用於分散式的儲能裝置，降低對於集中式電廠的依賴。

特斯拉渦輪相較於傳統水力或風力發電機，有著獨特的無葉片構造、結構簡單、體積輕巧、成本低廉、製作及維護容易，且可同時適用於氣、液兩種流體，期盼後續可以發展成小型發電裝置普及應用。

柒、參考文獻資料

- 一、物盡其用 涓滴成電 轉動吧！小水力大未. (2022). 台電月刊, 693 期。
- 二、迷你小水力 來電超有力！(2020).台電月刊,717 期。
- 三、特斯拉渦輪. (n.d.). https://en.wikipedia.org/wiki/Tesla_turbine.Tesla。
- 四、S.J. Foo, W.C. Tan and M. Shahril, Development of Tesla Turbine for Green Energy Applications, 2nd NCMER 2010, PP. 671-680.
- 五、Hoya, G P, and A Guha., The design of a test rig and study of the performance and efficiency of a tesla disc turbine, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy 223, no. 4, 2009, PP. 451 – 465.
- 六、Turbine. (2 C.E.). <https://www.youtube.com/watch?v=AfCyzIbpLN4>。
- 七、大自然的黃金比例螺線, <https://www.taiwannews.com.tw/ch/news/3472903>.
- 八、達文西密碼, http://blog.udn.com/jamielo/356669?f_UA=pc.
- 九、黃金螺線, <https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?tag=黃金螺線>.
- 十、雷諾數, <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/雷諾數>.

【評語】 030116

本研究探討特斯拉渦輪與外加黃金螺線流道在氣體與液體下的工作性能。研究的方向有趣且實用。同時也找出在這些設定的條件下，最佳的參數，是一個完整性相當好的作品。

作品海報



- ◎ 2050年淨零碳排的目標，全球正積極發展再生能源以維持充足的能源供應，本研究探討一種可以採用氣體與液體為工作流體的**特斯拉渦輪發電機**，目的是輔助集中式電網，減少電網負擔，避免長途輸電，降低電力成本，減少碳排放，有助環保。
- ◎ 使用廢棄光碟片，學習大自然**黃金螺線**進行創新**渦輪**設計，以氣源壓力： 0.50 kgw/cm^2 — 2.25 kgw/cm^2 、水源壓力： 0.25 kgw/cm^2 — 1.50 kgw/cm^2 ，轉子採用螺線數量：0條、2條、4條或6條，分別搭配0度、10度或20度入口角度，探討對渦輪轉速的影響。
- ◎ 透過**黃金螺線流道引導**，以氣體為工作流體： 1.00 kgw/cm^2 壓力時，採用4條螺線，搭配0度入口，轉速約提升**133%**；以液體為工作流體： 0.50 kgw/cm^2 壓力時，轉速提升率約達**72%**，有效提升渦輪在低壓力流體進入時的轉速。
- ◎ 以壓力氣源對輪殼發電照明模組以及鋰電池儲能模組進行發電實測，成功驗證黃金螺線渦輪發電機可以發展成**微型發電裝置**在日常生活中普及應用。

壹

研究目的



本研究透過仿生學習以黃金螺線作為流道進行創新渦輪設計，使低壓力工作流體沿著流道行進，達到黃金螺線軌跡，增加與碟片接觸的時間，提高渦輪轉速。研究目的：

- (一)、利用廢棄光碟片設計及製作出可以使用**氣體與液體**為工作流體推動的渦輪機；
- (二)、透過**仿生學習**以大自然黃金螺線進行創新渦輪設計；
- (三)、探討**不同螺線數量**的黃金螺線渦輪與**特斯拉渦輪** (0條螺線)的轉動速率比較；
- (四)、探討**不同入口角度**對渦輪轉速的影響，找出流體推動渦輪的最佳入口角度；
- (五)、應用最佳的渦輪轉動條件(螺線數量、入口角度)，進行渦輪**發電應用**實證。

貳

方法與設備



特斯拉渦輪發電機設計與應用

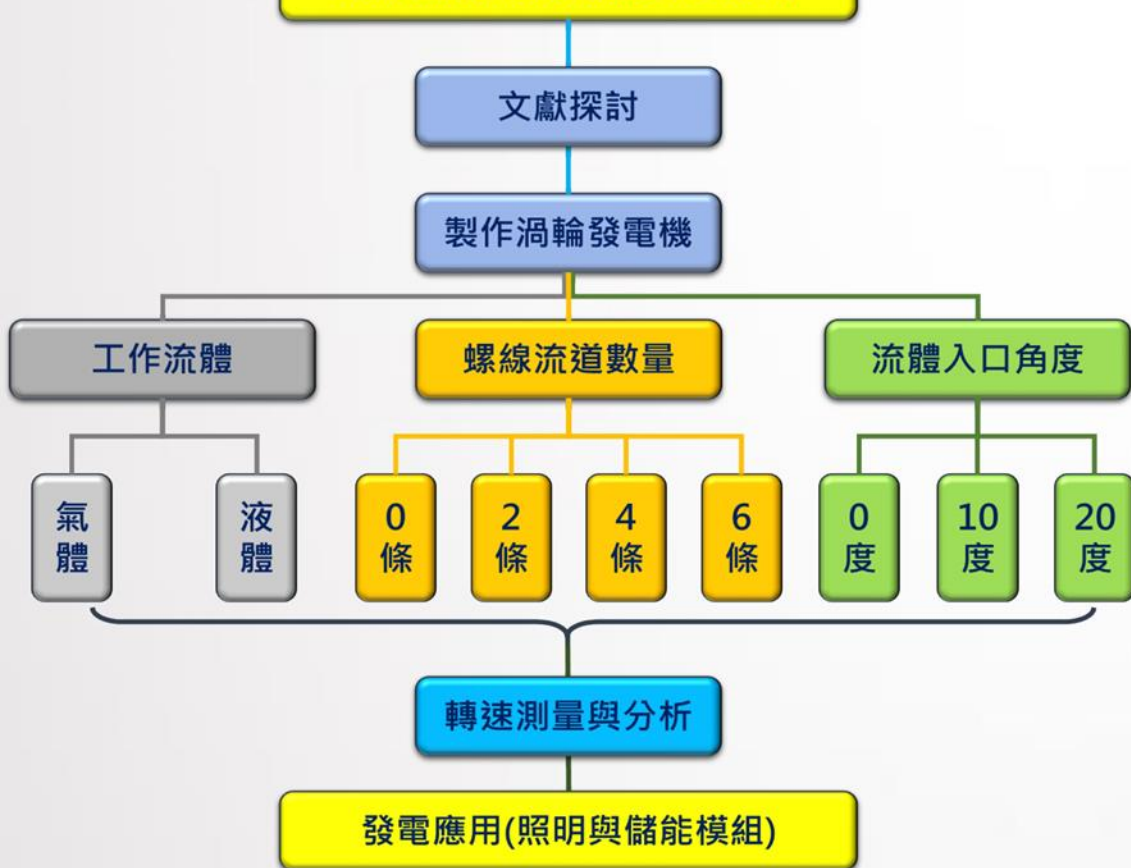


圖1、研究方法

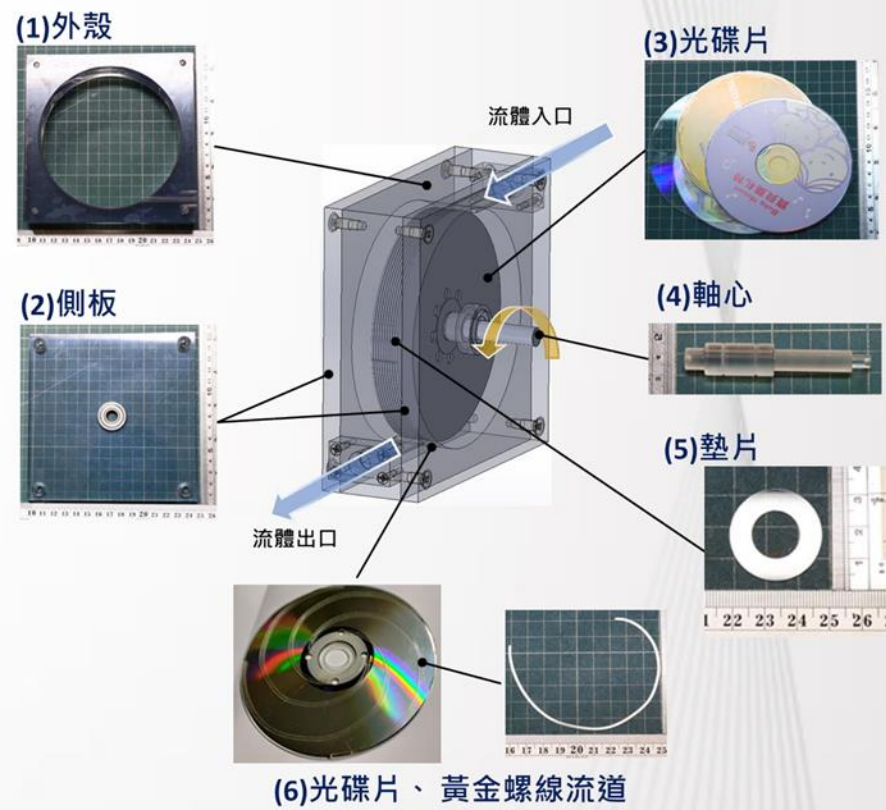


圖2、渦輪及組件

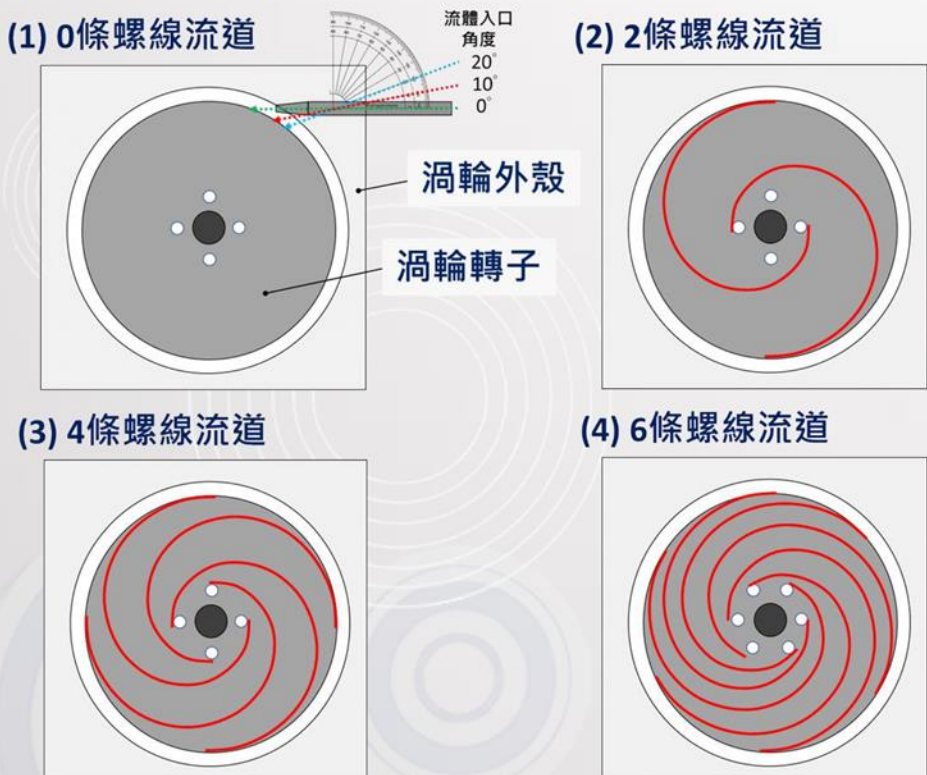


圖3、入口角度與螺線數量

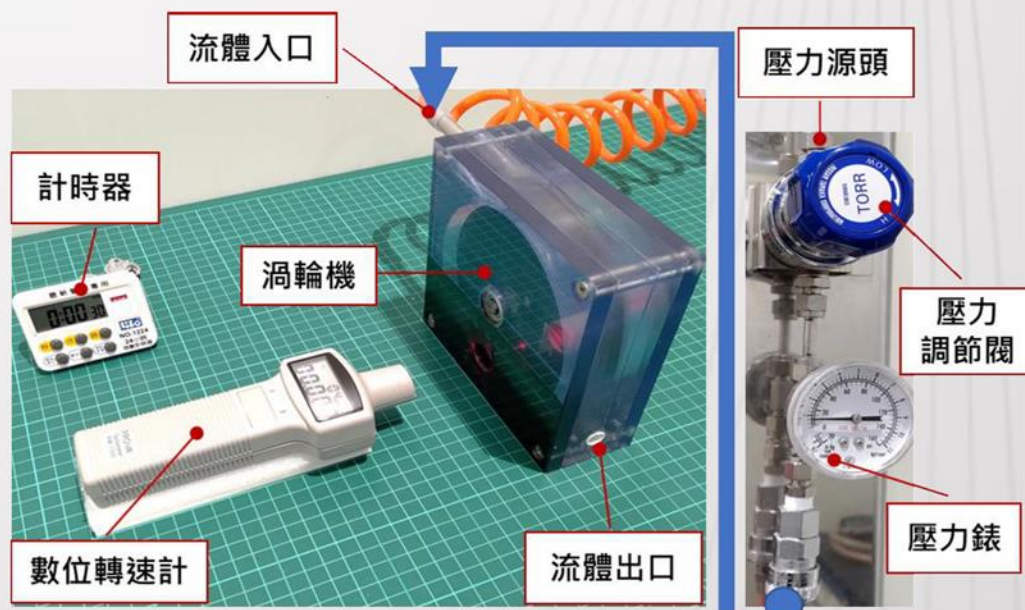


圖4、實驗架設及組件

一、以空氣為工作流體對渦輪轉速影響的探討

- 當氣源壓力為 0.50 kgw/cm^2 ，渦輪剛啟動時，特斯拉渦輪轉速皆高於黃金螺線渦輪，且螺線數量越多越難被啟動，主因為黃金螺線流道增加了渦輪重量，渦輪啟動需克服摩擦力；且螺線數量越多，碟片被區分成越多區域，造成流體與碟片接觸出現不連續性降低了推力。
- 在氣源壓力為 $0.75 \text{ kgw/cm}^2 - 1.25 \text{ kgw/cm}^2$ 具有顯著的轉速提升效果；氣源壓力為 1.00 kgw/cm^2 時，採用4條螺線，搭配入口角度 0° ，轉速為1735 RPM，相較特斯拉渦輪轉速746 RPM，轉速提升133%。
- 當在氣源壓力大於 1.50 kgw/cm^2 時，渦輪達到高轉速時，流體已不需流道引導就能以螺旋形式流動，故特斯拉渦輪轉速與黃金螺線渦輪相當。

$$\text{轉速提升率} = \frac{(\text{黃金螺線渦輪轉速} - \text{特斯拉渦輪轉速})}{\text{特斯拉渦輪轉速}}$$

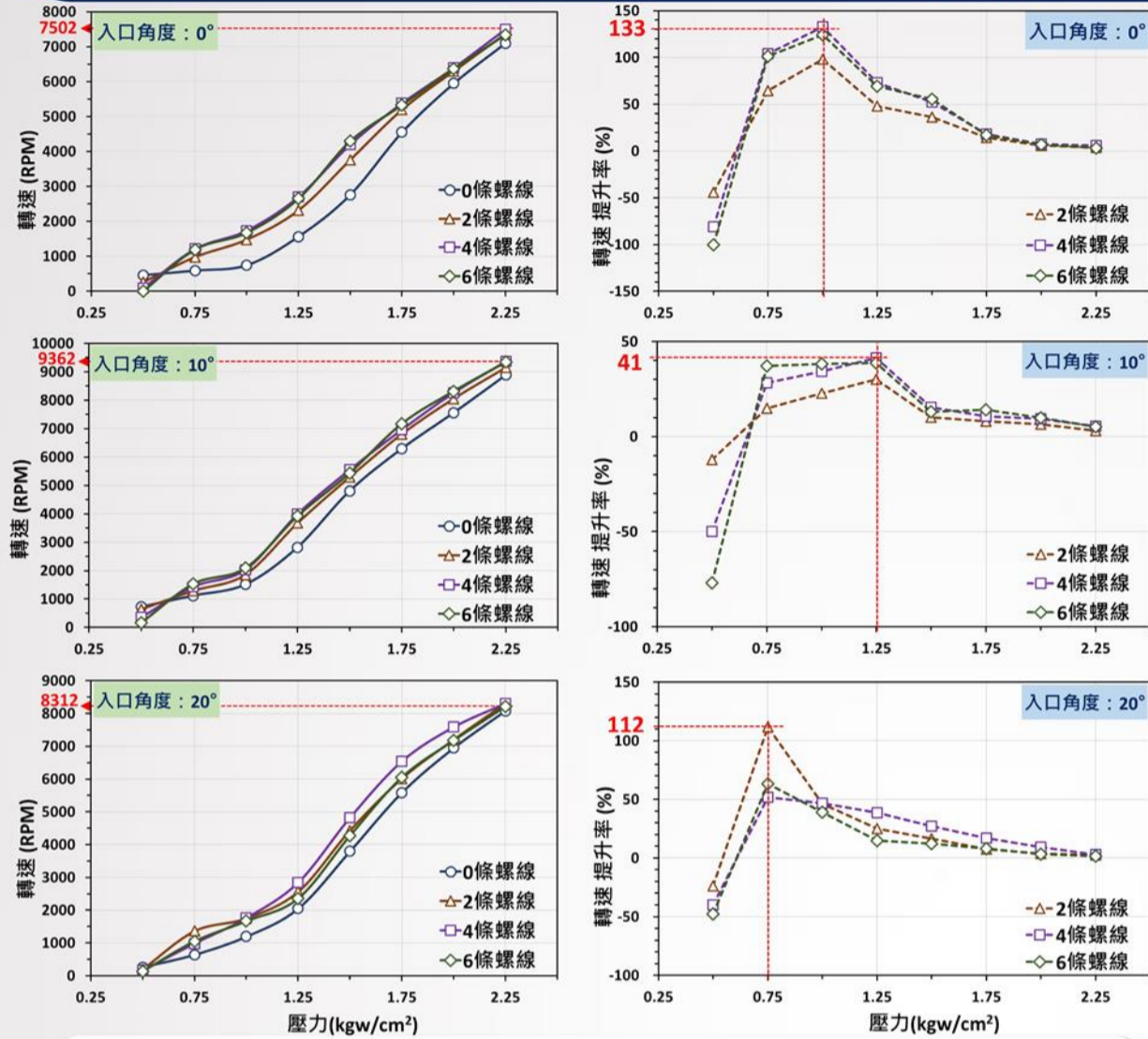


圖5、螺線數量對渦輪轉速的影響與轉速提升率

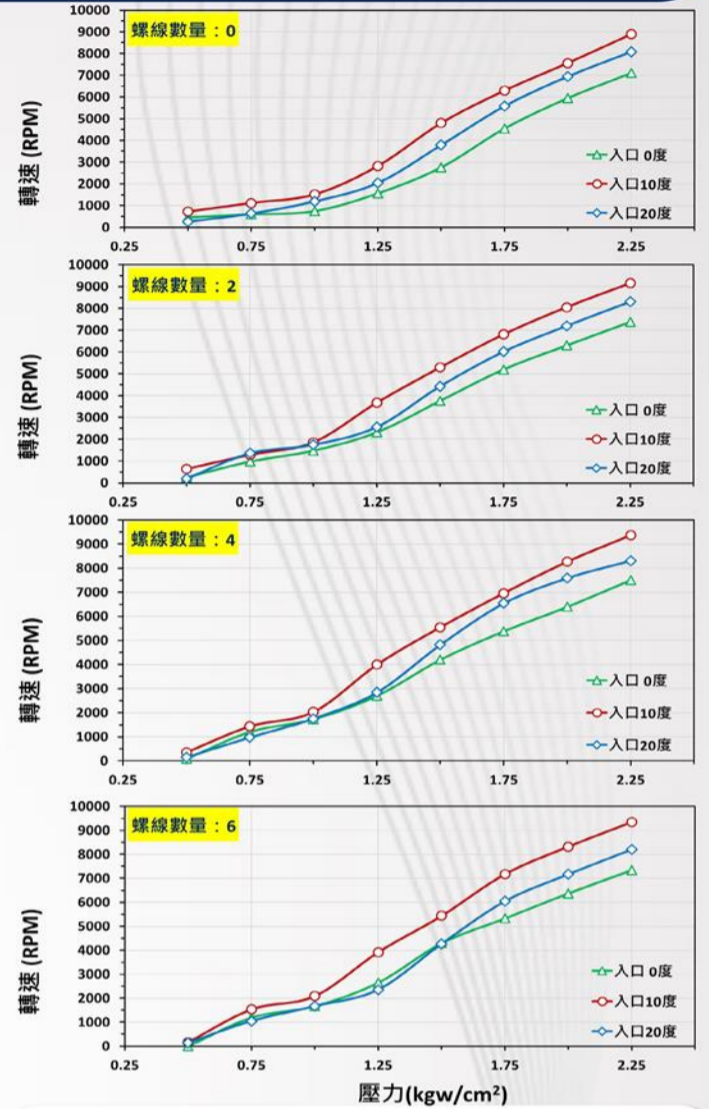


圖6、入口角度對渦輪轉速的影響

二、以水為工作流體對渦輪轉速影響的探討

- 以水為工作流體實驗結果與氣體大致相同，轉速提升率在低壓力流體進入時較高，隨之下降。
- 當水源壓力為 0.50 kgw/cm^2 時，採用4條螺線流道，搭配入口角度 10° ，轉速為657 RPM，相較特斯拉渦輪轉速381 RPM，轉速提升72%。
- 在相同壓力條件下，以水為工作流體的渦輪轉速無法達到與空氣為工作流體相當，在實驗過程中發現流體入口與轉子間出現大量氣泡，嚴重影響工作流體進入碟片間隙中產生推力。

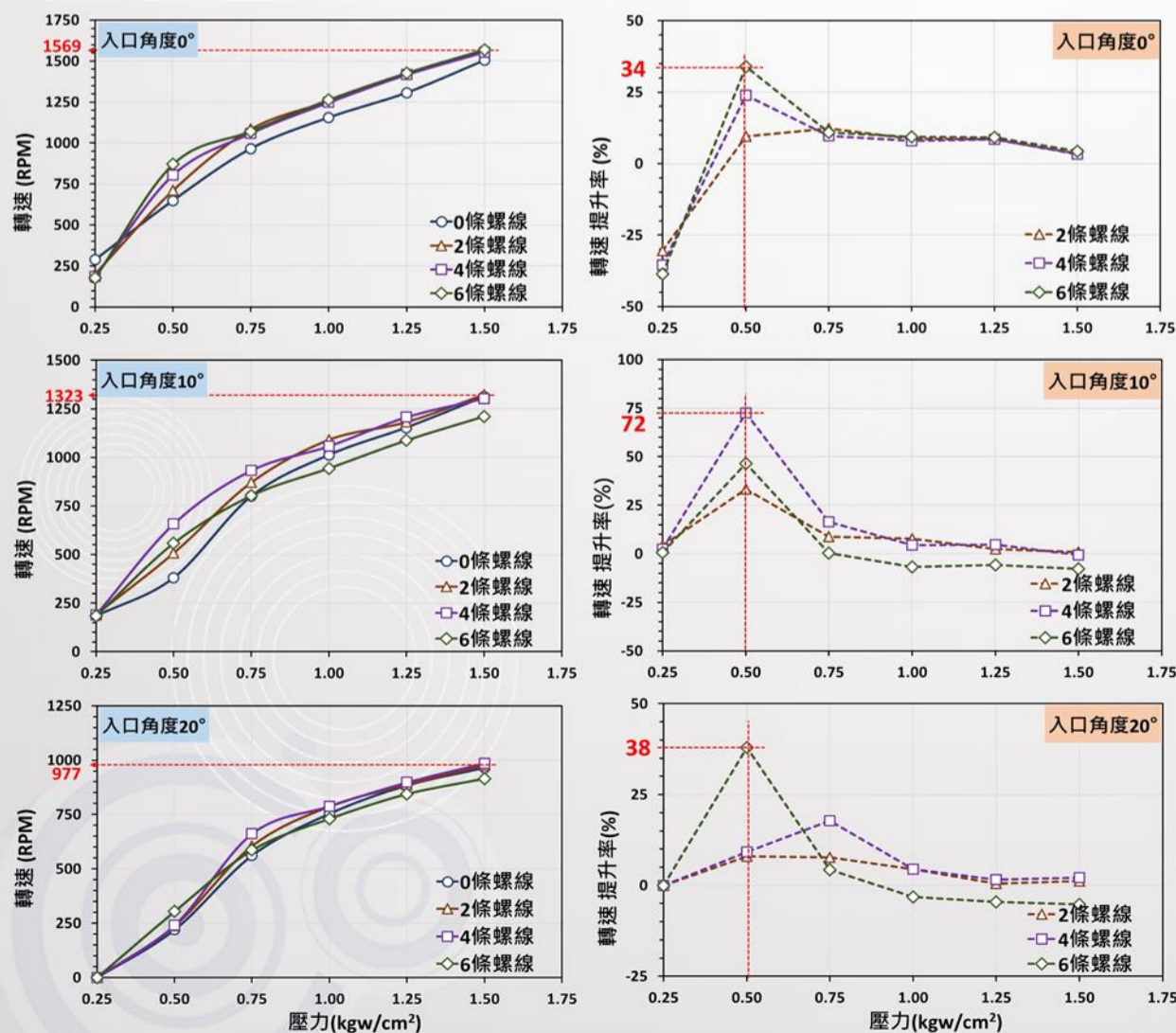


圖7、螺線數量對渦輪轉速的影響與轉速提升率

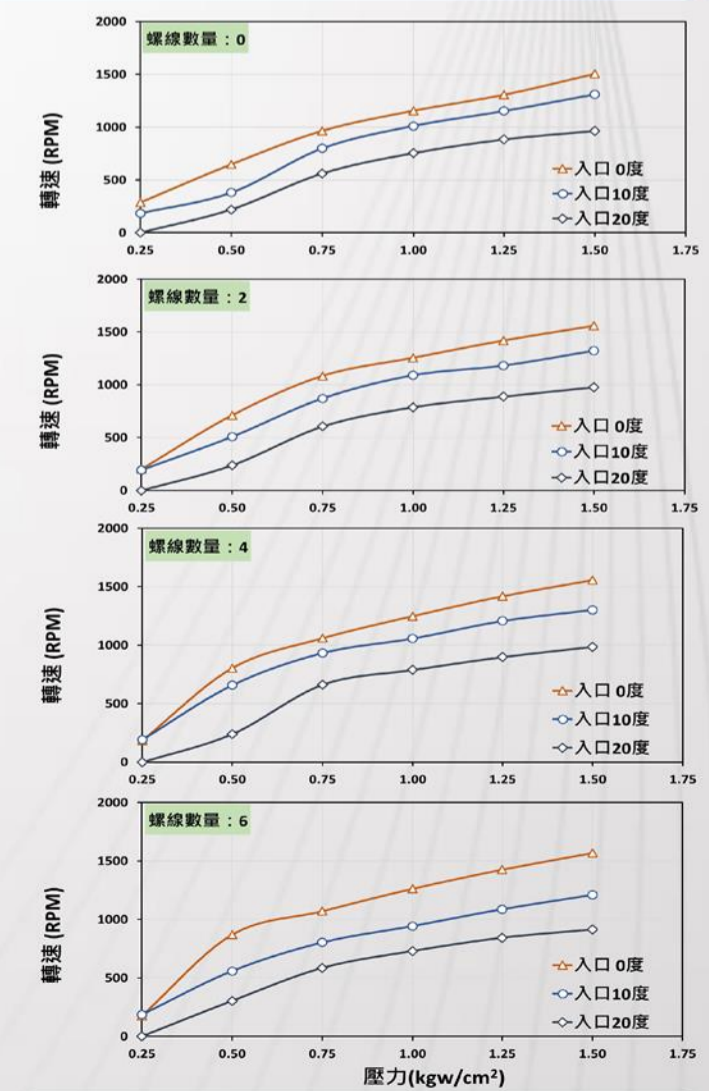


圖8、入口角度對渦輪轉速的影響

三、流體入口雷諾數量測實驗

- 以0.25 kgw/cm²—1.50 kgw/cm²的水源壓力注入3000 ml量筒中，量測水源注滿3000 ml所需時間，進行雷諾數(Re)計算。
雷諾數(Re) = $\frac{\text{流體密度} \times \text{流體速度} \times \text{入口管徑}}{\text{流體黏度}}$
- 流體入口壓力在0.25 kgw/cm²時，雷諾數為6884，隨著壓力越大，雷諾數也越大；到1.50 kgw/cm²時，雷諾數為25814，皆屬於紊亂的流場(Re>4000)，證明流體入口與轉子間大量氣泡為紊流造成。

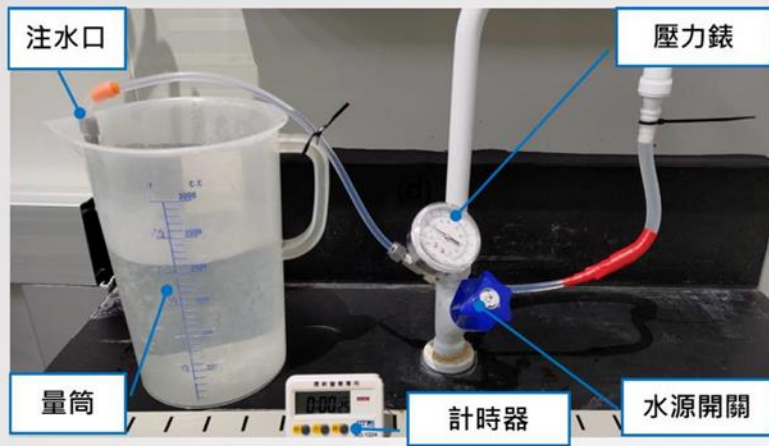


圖9、水源壓力體積流率量測實驗

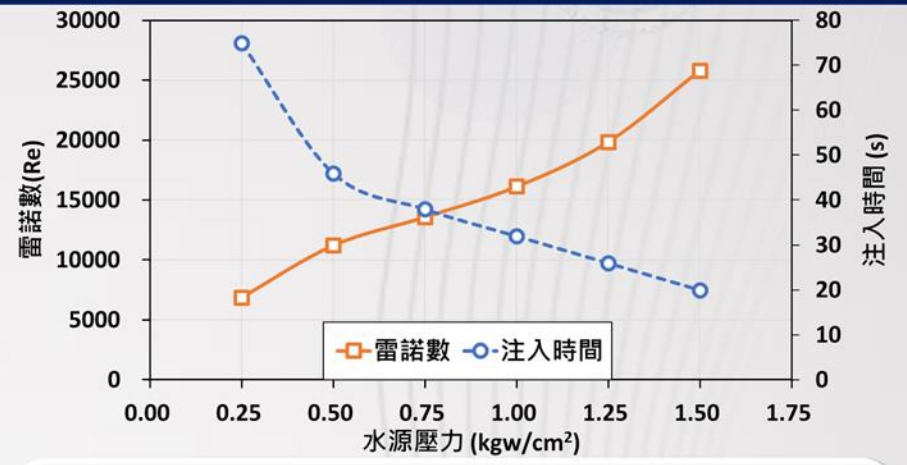


圖10、水源壓力與流體入口雷諾數關係

肆 發電應用

一、輪轂發電照明應用

- 以0.75 kgw/cm²—2.00 kgw/cm²氣源壓力驅動渦輪，進行輪轂發電照明模組應用實證。
- 隨著氣源壓力增加，渦輪轉速及LED燈的亮度也隨之增加；當氣源壓力達1.25 kgw/cm²時，照明模組已達到最大亮度，而後氣源壓力增加，LED燈的亮度也不再隨之提升。

二、鋰電池儲能應用

- 以0.75 kgw/cm²—2.00 kgw/cm²氣源壓力進行渦輪驅動，帶動直流發電機，進行應用實證。
- 當氣源壓力達2.00 kgw/cm²時，發電機可產生最大電壓為40.9 V_{DC}，透過電壓轉換器，穩定輸出5.9 V_{DC}與充電模組連接，對鋰電池(18650)進行充電。



圖11、輪轂發電照明模組實體照片

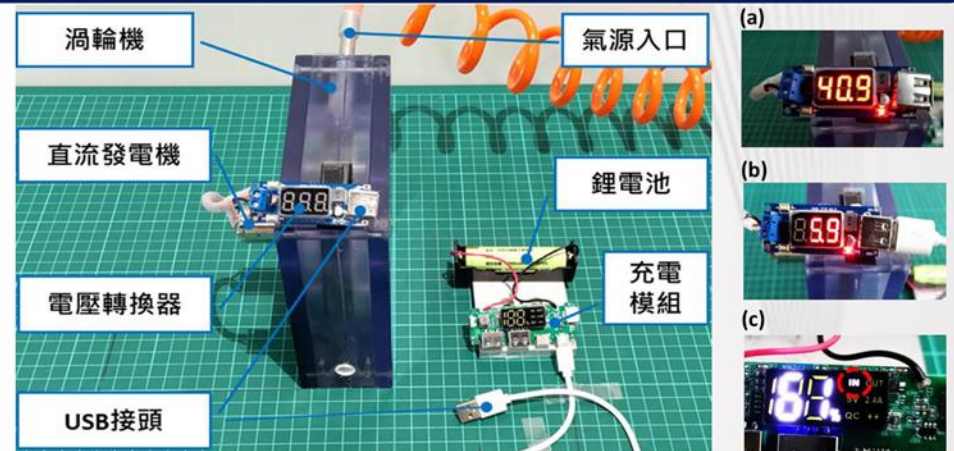


圖12、鋰電池儲能模組實體照片

伍 結論

- 本研究利用廢棄光碟片製作出可適用於風力及水力進行轉動的特斯拉渦輪機；以黃金螺線作為流道進行創新渦輪設計，成功證明透過螺線流道的引導，在低壓力流體進入時可有效提升渦輪的轉速。
- 以空氣為工作流體，入口角度為10度時，對於渦輪運轉為最佳的條件；以水為工作流體，入口角度為0度時，對於渦輪運轉為最佳的條件。
- 以渦輪帶動輪轂發電照明模組，可應用於植物工廠的LED生長燈。亦可以渦輪帶動直流發電機對鋰電池進行充電，可應用於分散式的儲能裝置，降低對於集中式電廠的依賴。
- 特斯拉渦輪相較於傳統水力或風力發電機，有著獨特的無葉片構造、成本低廉、結構簡單、體積輕巧、製作及維護容易，且單一結構可同時適用於氣、液流體，期盼可以發展成微型發電裝置普及應用。

表1、技術比較

比較項目	水渦輪發電機	風力發電機	特斯拉渦輪發電機
流體介質	水	空氣	水、空氣、蒸氣
驅動原理	重力或衝擊力	阻力或升力	黏滯力(邊界層)
受力結構	葉片(葉片角度)	葉片(葉片角度)	無葉片(碟盤間隙)
工作方向	水平軸或垂直軸	水平軸或垂直軸	無方向性
體積	中	大	小
能量損耗	大	中	小
製作及運維成本	高	中	低

表2、材料成本分析

零件名稱	材料成本(NT\$)
渦輪外殼	350
直流發電機	100
軸心/軸承	90
充電模組	80
鋰電池	100
電壓轉換器	45
總計	765

陸 未來展望

- 增加液體實驗中轉子的碟片間隙並改變入口結構設計，探討液體進入碟片間的狀況。
- 以阿基米德螺線、費馬螺線等不同螺線型態，探討螺線對於渦輪轉速的影響。
- 增加轉子碟片數量，預期可產生更大出力，期盼有機會普及應用。