

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

080107

洞動扇葉最來電

學校名稱：臺南市東區復興國民小學

作者：	指導老師：
小六 區至軒	李孟娟
小六 王勁焯	蔡佳錚
小六 陳仕亘	

關鍵詞：風力發電、打洞扇葉、3D 列印

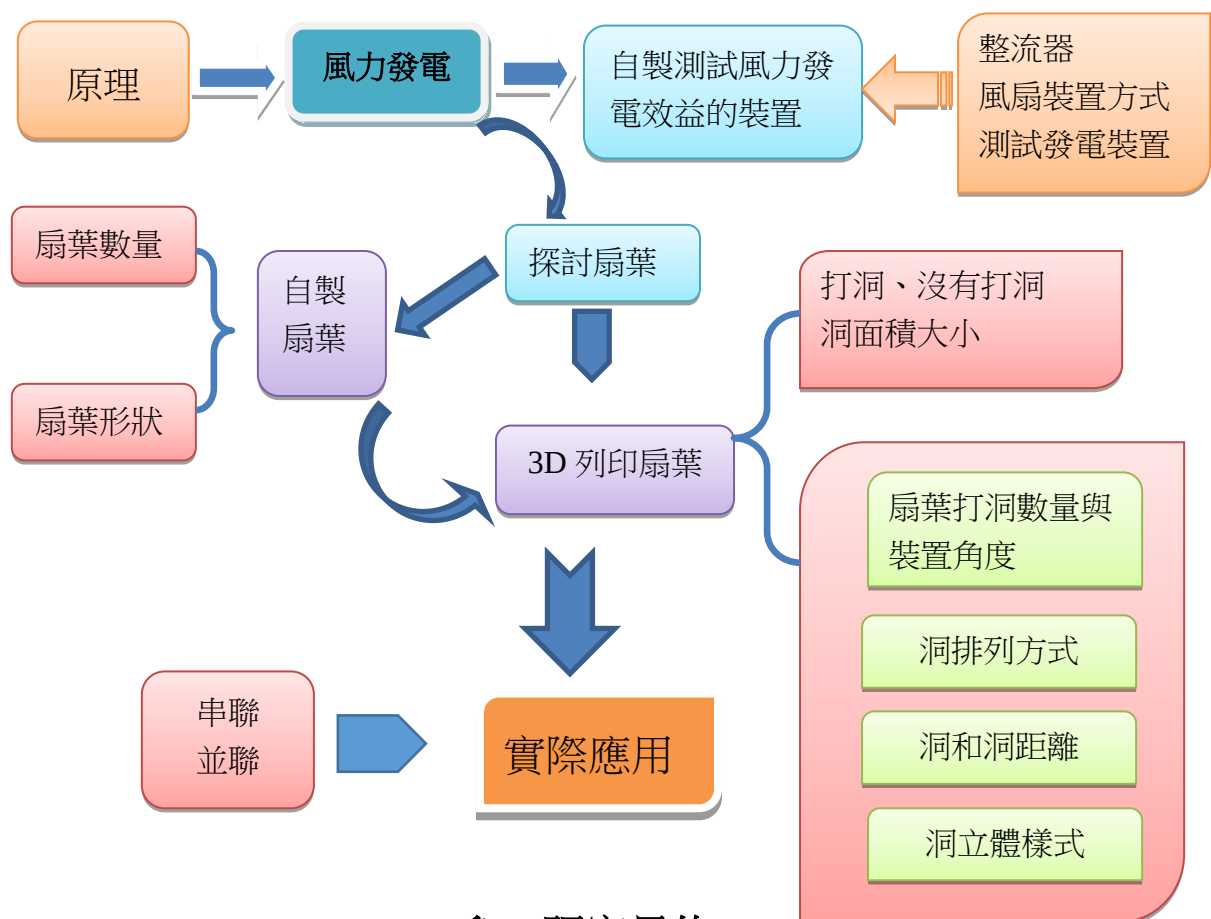
摘要

主要探討風力發電機扇葉上打洞鏤空是否可提高發電量。如果讓風扇葉面受力不平均可提高轉速，是否可提高發電效益，為了驗證此推論，在扇葉上用不同方式打洞，測試對發電效益的影響。首先自製測試風力發電效益裝置，包含整流器、扇葉裝置、以及測試電力裝置。在初步測試後，利用 3D 列印扇葉，固定扇葉的樣式。接著探討扇葉形狀、數量、是否打洞、扇葉打洞數量、裝置角度、打洞面積、洞立體樣式、洞距、洞排列方式等，對發電效益的影響。發現扇葉數量為三片，扇葉形狀為橢圓形，裝置角度為 80 或 100 度，打 3 或 2 個洞，立體樣式為由小到大，洞平均分配打在扇葉上，洞排列方式可以利用右斜向左、左斜向右，且串聯可提高發電效益。

壹、研究動機

在能源短缺的情況下，我們希望能以低碳的方式發電，達成非核家園的夢想，於是研究如何讓風力發電的發電扇葉轉得更快、發電效益愈高。我們觀察廣告看板上都有打洞和減少風阻有關，設想如果在風力發電葉片上打洞應該可以減少風阻，讓扇葉轉速更快。所以我們為了證實這項推論，我們在自製扇葉上打洞研究發電效益，希望能提供風力發電的發電效能。

貳、研究架構圖



參、研究目的

一、自製測試風力發電效益的裝置

- 一-1、探討影響自製測試風力發電效益裝置的因素
- 一-2、探討自製測試風力發電效益裝置的方式

二、研究扇葉對發電效益影響的初步測試

二-1、探討扇葉數量對發電效益的影響

二-2、探討扇葉形狀對發電效益的影響

三、研究自製扇葉裝置的方式

三-1、探討自製扇葉裝置的方式

三-2、探討扇葉打洞與否對發電效益的影響

三-3、探討扇葉上洞面積大小對發電效益的影響

四、研究扇葉打洞樣式對發電效益的影響

四-1、研究不同洞數的扇葉，裝置成不同角度時，所產生的發電效益

四-2、探討扇葉上洞的排列方式對發電效益的影響

四-3、探討扇葉上洞與洞間距離對發電效益的影響

四-4、探討扇葉上洞立體樣式對發電效益的影響

五、串聯和並聯扇葉裝置對發電效益的影響

五-1、自製可以串聯和並聯扇葉裝置的器具

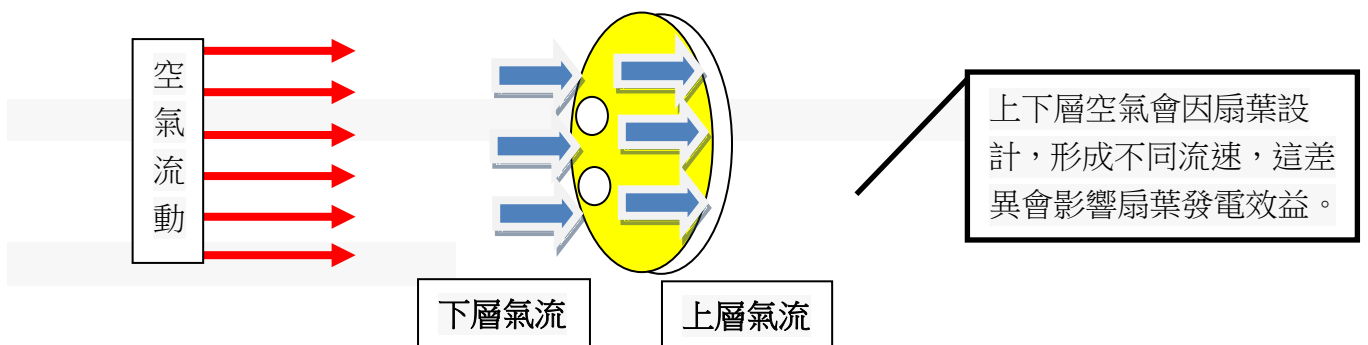
五-2、串聯和並聯扇葉裝置對發電效益的影響

六、扇葉裝置的實際應用

肆、研究原理

一、**風力發電**：風力發電的動力來源為風，然後讓扇葉轉動以產生電力。

二、**扇葉轉動**：空氣通到扇葉後，會形成不同的流動現象。即空氣流通過扇葉後，空氣因為扇葉不同設計，形成的不同的阻撓，讓通過扇葉上層、下層形成的流速不同，讓扇葉上下兩邊所受的力不同，這差異進而提升了扇葉轉動後所產生的發電效益。



伍、研究設備和材料

一、**實驗設備**：小馬達、螺絲起子、電子式三用電表、風扇、支架、固定夾、吸排兩用電風扇、量角器、剪刀、美工刀、3D 列印機、3D 列印線材、鋸子、長尺、風速計。

二、**實驗材料**：不同形狀木塊、木條、珍珠板、塑膠板、電線、吸管、紙板、紙箱、膠帶。

陸、研究過程與結果

研究一：自製測試風力發電效益的裝置

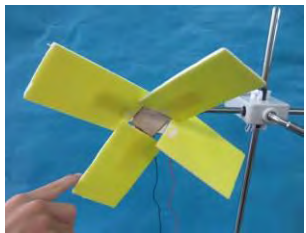
研究一-1：探討影響自製測試風力發電效益裝置的因素

1.構思概念：

蒐集相關資料，發現風力發電的動力來源為風，然後讓扇葉轉動以產生電力。所以首先探討風力產生方式、風扇裝置方式和測試發電效益方式。

2.測試步驟：

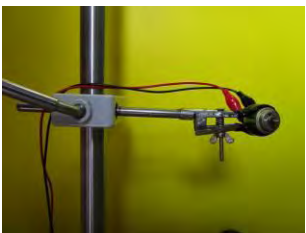
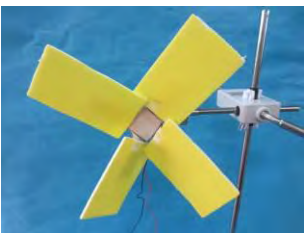
(1)探討測試發電效益(電壓、電流值)方式：

			
裁切珍珠板和木塊 製作扇葉裝置	扇葉裝上小馬達和 接上電子式三用電表	轉動扇葉	測得電壓和電流值

結論：

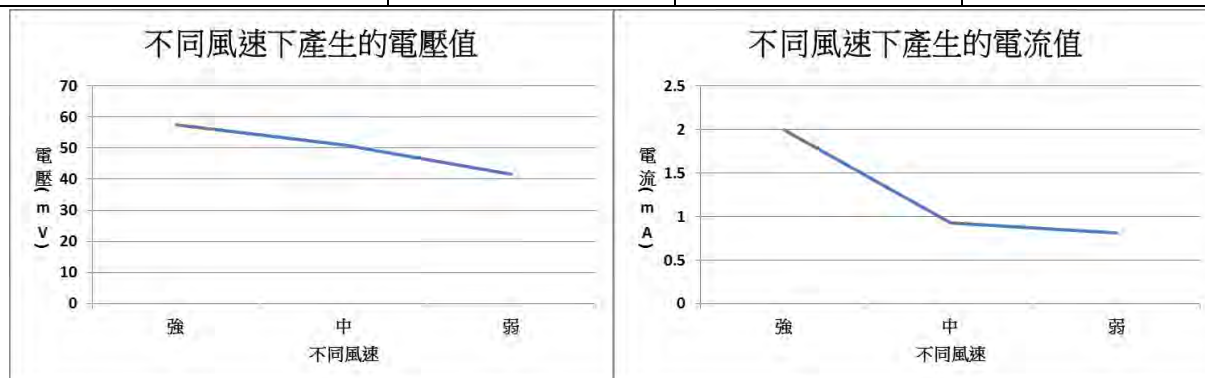
利用電子式三用電表可以測得風扇裝置轉動後所產生的電壓和電流值。

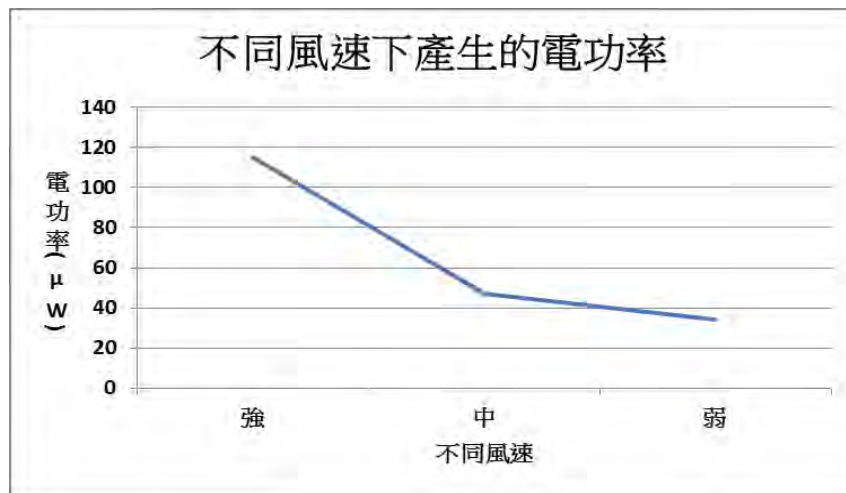
(2)探討風力大小對發電效益的影響：

		
用電風扇形成大小不同風力	將扇葉固定於電風扇前	測試電壓和電流值

表一-1-1 不同風力吹動扇葉所產生的電壓、電流、電功率

風力強弱	電壓(mV)	電流(mA)	電功率(μ W)
強	57.61	1.99	114.93
中	50.93	0.93	47.11
弱	41.57	0.82	33.88





發現與討論：

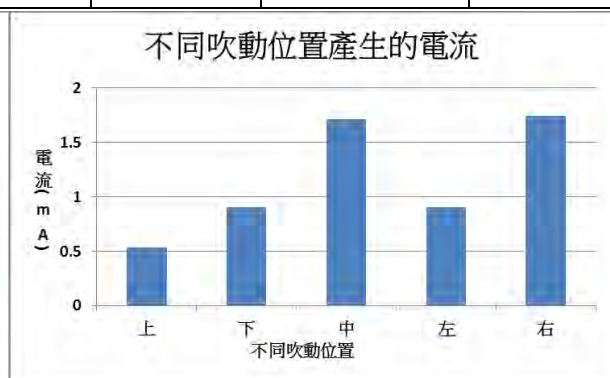
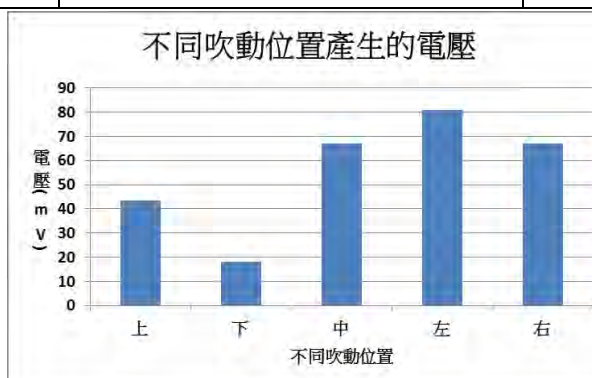
- 1.發現風扇裝置在不同風速下，電壓、電流、電功率都是強>中>弱。
- 2.發現發電效益較佳的是風強的時候，效果較為不好的則為風較弱的时候。

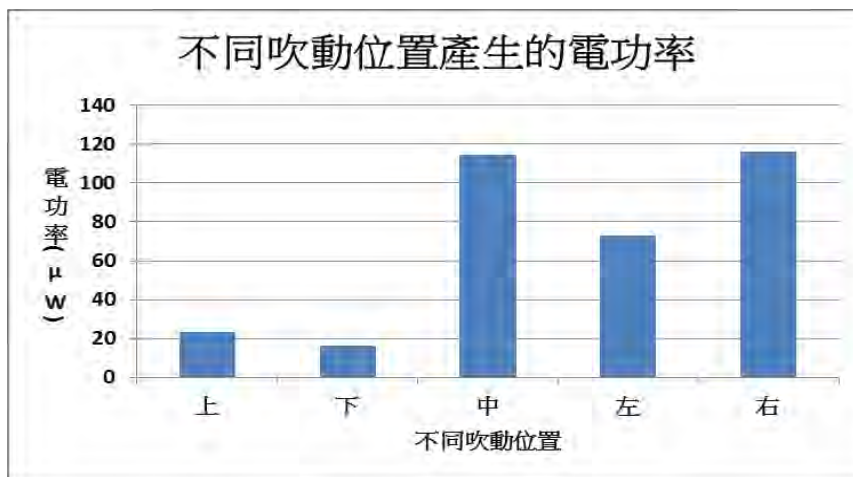
結論：風力大小不同下，扇葉轉動的情形不同，形成的電壓、電流值不同，風力越大所產生的電功率越高，所以要**固定風力**，才可以進行相關實驗。

(3)探討風吹動扇葉裝置不同位置(右側、左側、中間、上方、下方)

表一-1-2 風扇吹動扇葉不同位置所產生的電壓、電流、電功率

扇葉位置	照片	電壓(mV)	電流(mA)	電功率(μW)	說明
上方		43.34	0.54	23.18	風扇轉動較為不穩定
下方		18.23	0.90	16.41	
中間		66.88	1.71	114.36	風扇轉動情形穩定
左側		80.95	0.90	72.86	風扇轉動較為不穩定
右側		66.44	1.75	115.94	





發現與討論：

- 1.發現以電壓來講，左側＞中間＞右側＞上方＞下方。
- 2.發現以電流來講，右側＞中間＞左側＝下方＞上方。
- 3.發現以電功率來講，右側＞中間＞左側＞上方＞下方。
- 4.發現發電效益較佳的是右側和中間，效果較為不好的則為上方。
- 5.三者數據皆較佳的為中間，且中間的風會讓扇葉較穩定轉動。

結論：

- 1.右側和中間所形成的電壓、電流會較佳，但是右側會讓風扇轉動不穩定，風力以**中間**較佳。
- 2.依據上面實驗結果自製測試風力發電效益裝置的方式。

研究一-2：探討自製測試風力發電效益裝置的方式

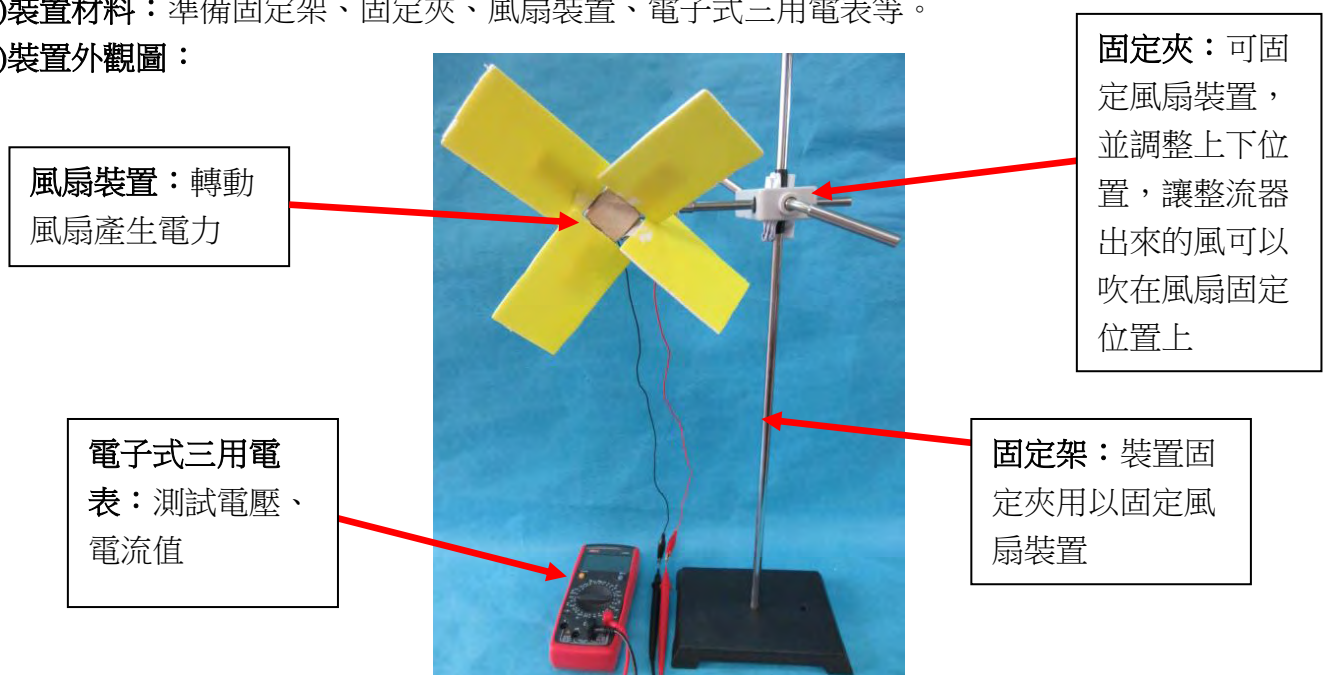
1.構思概念：

依據研究一-1 的結果，首先製作可以形成穩定風力的裝置，接著製作可以固定風扇裝置以及測試所產生電壓、電流值的裝置。

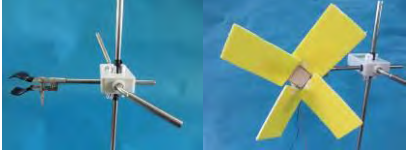
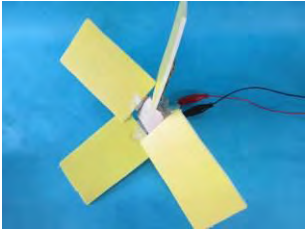
2.裝置一：測試電功率的裝置

(1)裝置材料：準備固定架、固定夾、風扇裝置、電子式三用電表等。

(2)裝置外觀圖：



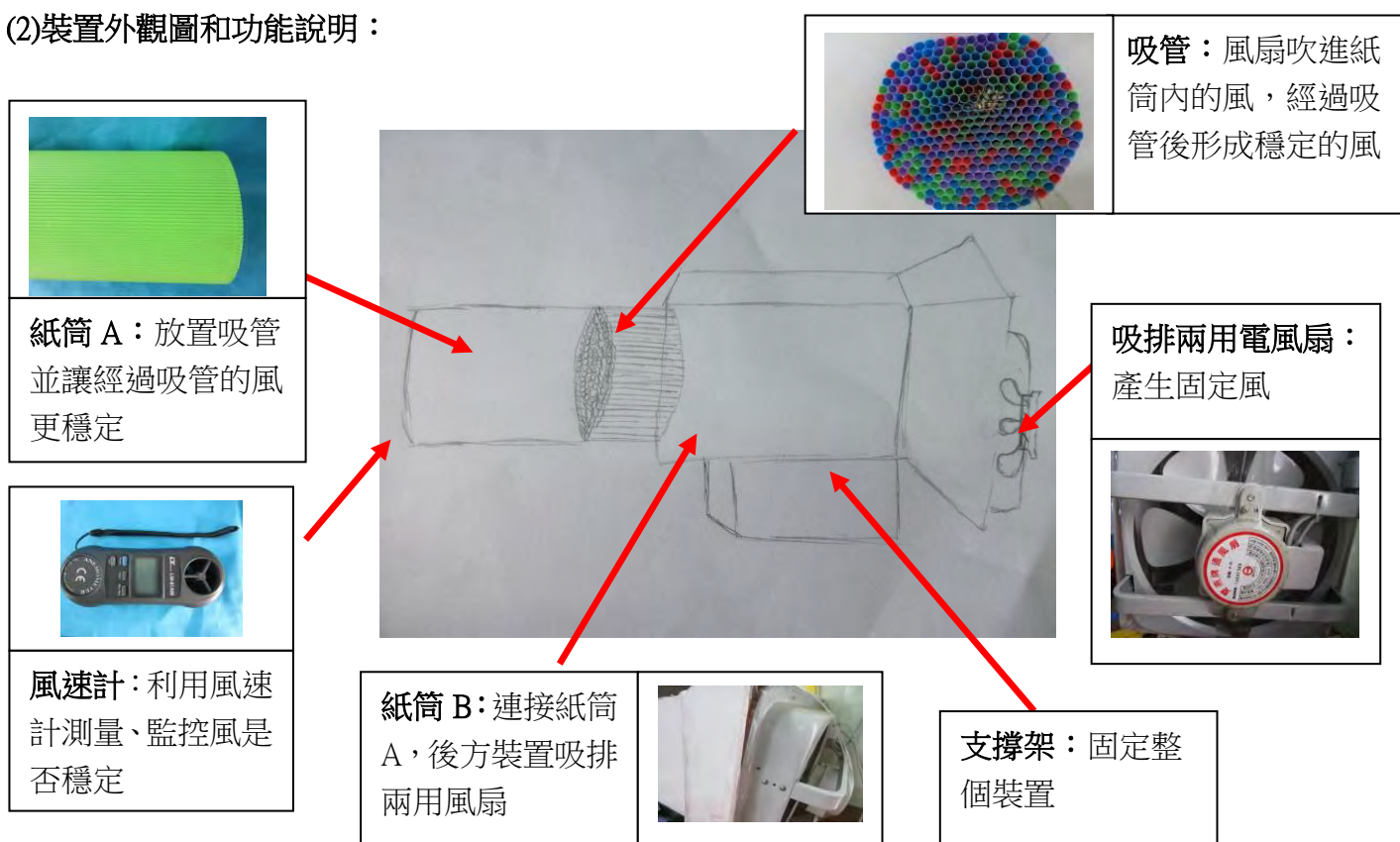
(3)裝置說明與功能：

零件名稱	實物	裝置方式	功能
固定架		固定在桌面上	裝置固定夾用以固定風扇裝置
固定夾		固定夾在固定架上，讓風扇裝置可以固定在上面	可固定風扇裝置，並調整上下位置，讓整流器出來的風可以吹在風扇固定位置上
風扇裝置		將扇葉固定在木塊上在接上小馬達	轉動扇葉產生電力
電子式三用電表		接在風扇裝置上	測試電壓、電流值

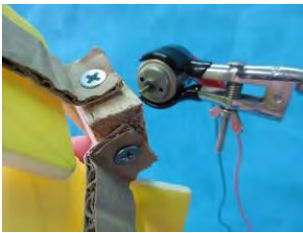
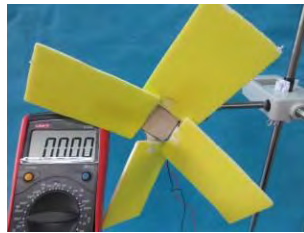
3.裝置二：整流器

(1)裝置材料：準備吸管、紙板、吸排兩用電風扇、風速計等。

(2)裝置外觀圖和功能說明：



4.使用方法：

			
將風扇裝置固定	調整風扇角度	轉動整流器	風扇裝置轉動產生電力，測試電壓電流值

研究二：研究扇葉對發電效益影響的初步測試

構思概念：首先探討扇葉數量和形狀對發電效益的影響。

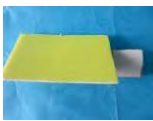
研究二-1、探討扇葉數量對發電效益的影響

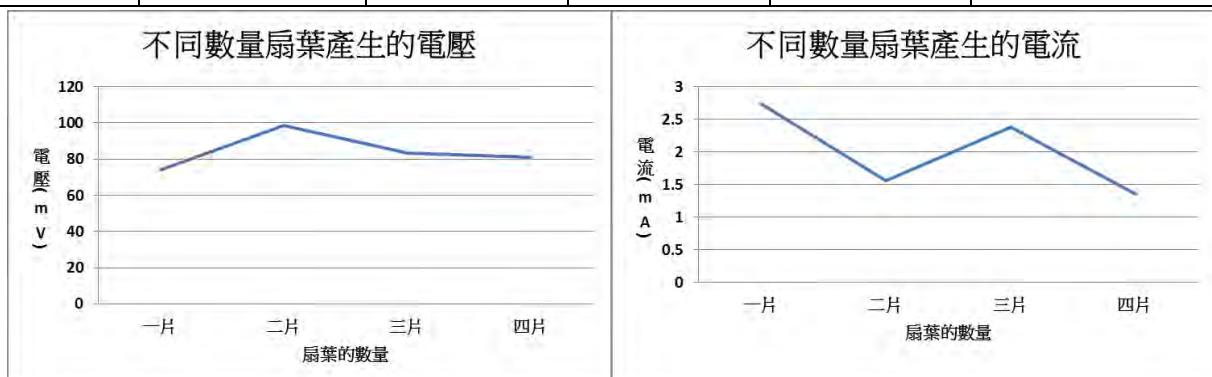
(一)、實驗步驟：

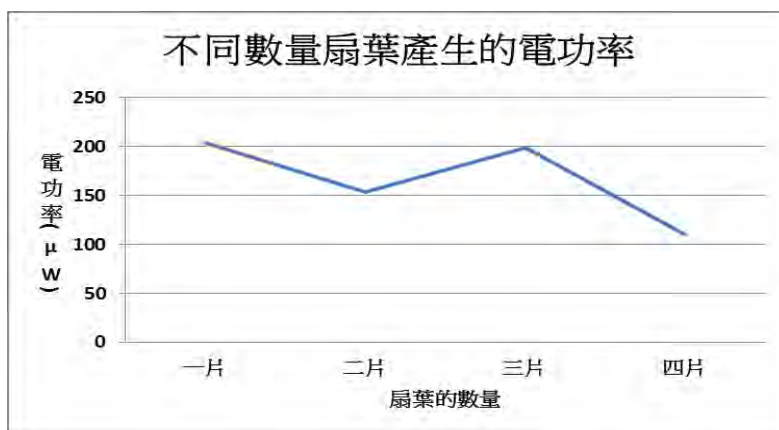
- 1.珍珠板裁切四片長方形(10cm×6cm)的扇葉；準備方形的木塊，在周圍和上方打洞。
- 2.在方形木塊上裝置不同個數的扇葉，裝置角度為 60 度，包含 1-4 片。
- 3.將步驟 3 中的各個扇葉組合，組裝在測試裝置上，分別進行測試所產生的電壓、電流值。

(二)、實驗結果：

表二-1-1 扇葉個數對發電效益的影響

扇葉個數	照片	電壓(mV)	電流(mA)	電功率(μ W)	說明
1 片		74.02	2.75	203.17	不易平衡、易損壞、轉速最快
2 片		98.56	1.56	153.75	不易平衡、易損壞、轉速快
3 片		83.11	2.39	198.21	容易平衡、不易損壞、轉速快
4 片		80.88	1.36	109.99	最能平衡、最不易損壞、轉速極慢





(三)、發現與討論：

扇葉裝置裝上不同片數的風扇，

- 1.發現以電壓來講，2片>3片>4片>1片。
- 2.發現以電流來講，1片>3片>2片>4片。
- 3.發現以電功率來講，1片>3片>2片>4片。
- 4.以整體數值來說，發電效益較佳的為扇葉3個。且扇葉3片轉動情形較為穩定。
- 5.依據上述實驗結果，發現3片扇葉是最佳的裝置方式，接下來實驗以三片扇葉為裝置方式。

研究二-2：探討扇葉形狀對發電效益的初步測試

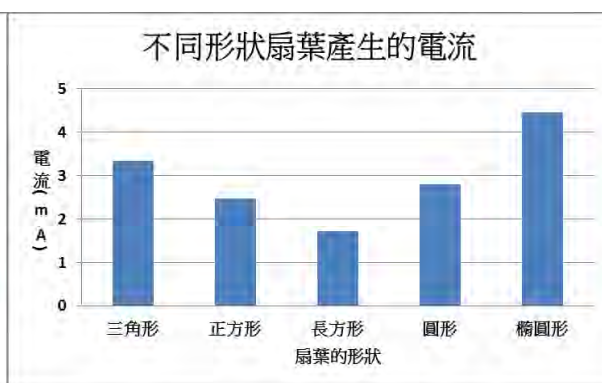
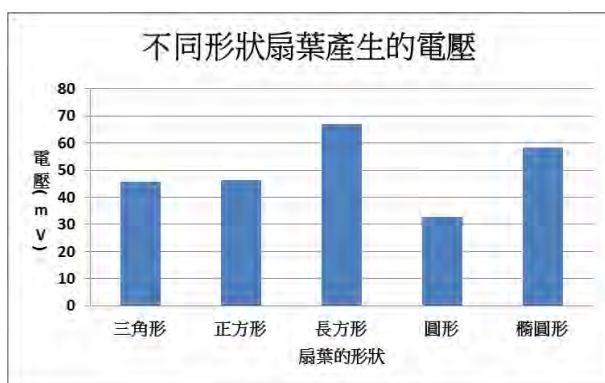
(一)、實驗步驟：

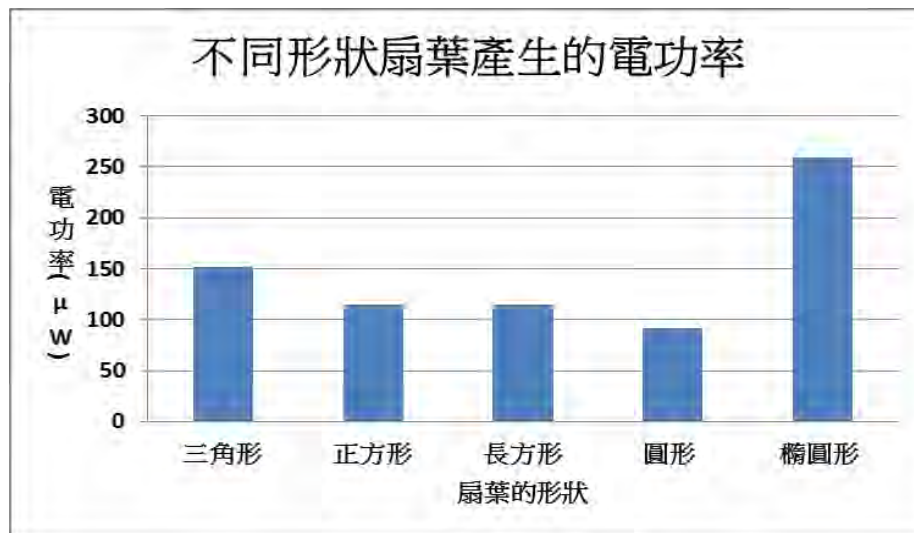
- 1.設計不同形狀的扇葉，利用珍珠板子裁切三角形、正方形、長方形、圓形、橢圓形的扇葉。
- 2.將步驟1中的扇葉裝上裝置，測試所產生電壓、電流值。

(二)實驗結果：

表二-2-1 扇葉形狀對發電效益的影響

扇葉形狀	三角形	正方形	長方形	圓形	橢圓形
照片					
電壓(mV)	45.65	46.30	66.88	32.67	58.29
電流(mA)	3.33	2.48	1.71	2.79	4.46
電功率(μW)	152.02	114.58	114.36	91.14	259.68





(三)發現與討論：

- 1.不同形狀扇葉所形成電功率為橢圓形>三角形>正方形>圓形>長方形。
- 2.發現發電效益較佳的是橢圓形，效果較為不好的則為長方形。

總結：

發電效益較佳的為裝置三片扇葉，且將扇葉形狀裁切成橢圓形。

研究三、研究自製扇葉裝置的方式

研究三-1、探討自製扇葉裝置的方式

構思概念：

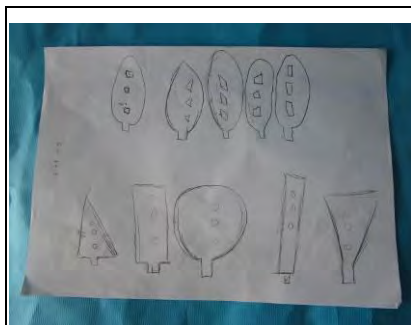
珍珠板製作的扇葉，在裁切的時不易裁切成一致，轉動時穩定性不高。電腦課正進行 3D 列印的課程，因此我們想把 3D 列印技術用來列印扇葉，接著探討 3D 列印是否適合進行實驗。

A 扇葉製作：

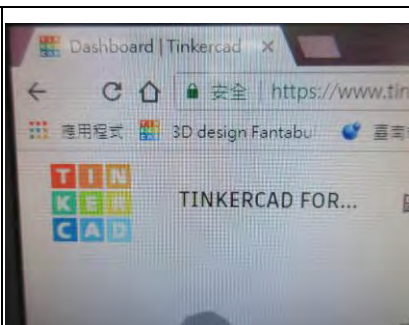
(一)製作步驟

1.3D 列印製作扇葉

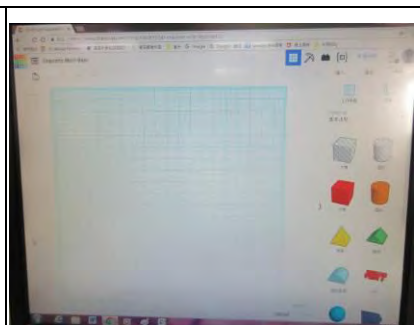
- (1)組員討論，發想不同的扇葉樣式，設計畫出草稿圖。
- (2)依據草稿圖，利用 **TINKERCAD 軟體**進行扇葉樣式的設計。
- (3)利用 3D 列印機進行列印，製作出扇葉。

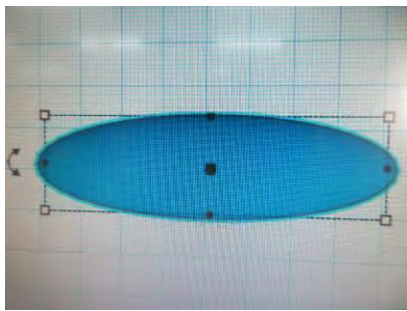
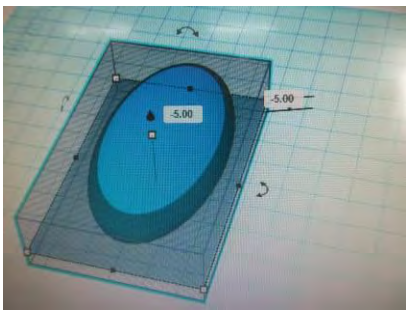
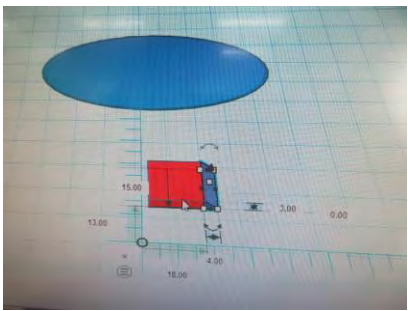
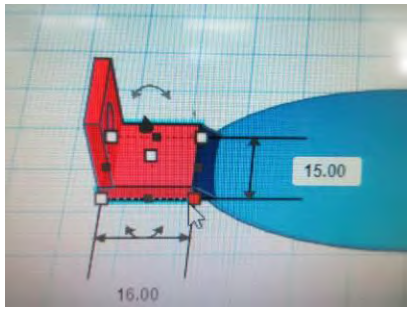
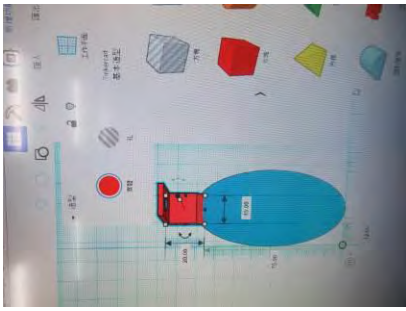
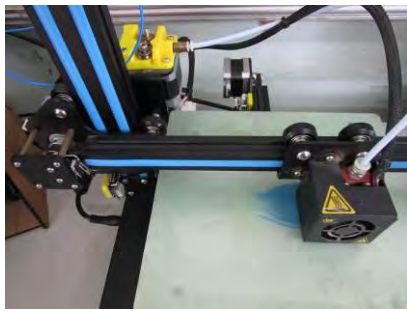


討論設計畫出扇葉草稿圖



利用 TINKERCAD 軟體設計扇葉



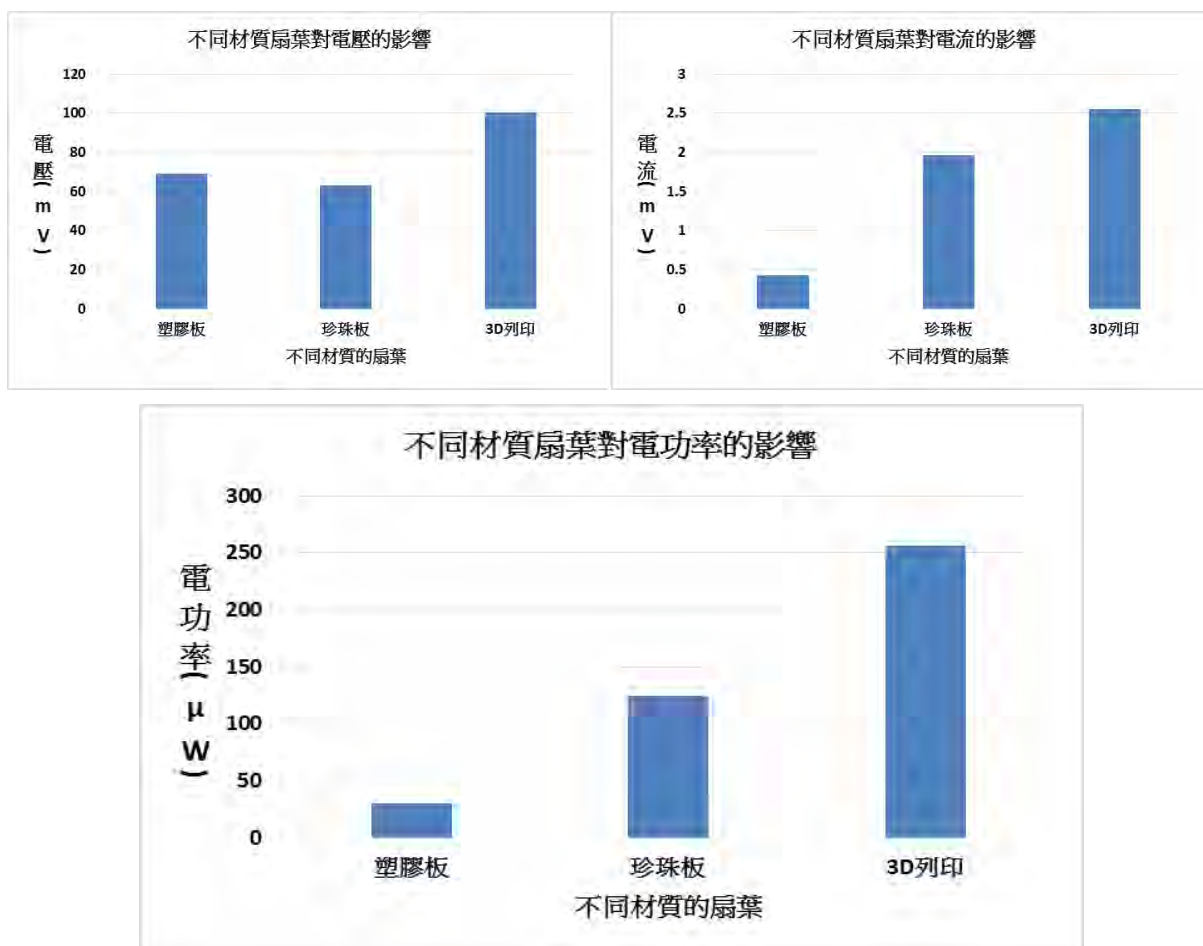
		
設計橢圓形扇葉(長、寬)		設計扇葉固定軸
		
將扇葉和固定軸部分結合		利用 3D 列印機進行列印扇葉
		
利用 3D 列印機進行列印扇葉	3D 列印扇葉成品	進行測試電壓電流值

2.裁切製作珍珠板和塑膠板扇葉。

3.利用塑膠板、珍珠板、3D 列印等材質製作扇葉，測試所產生的電壓、電流值。

表三-1-1 不同材質扇葉所產生的電壓、電流、電功率

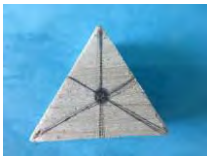
扇葉材質	塑膠板	珍珠板	3D 列印
照片			
電壓(mV)	69.25	63.21	100.42
電流(mA)	0.43	1.97	2.55
電功率(μ W)	29.78	124.21	256.06
說明	每片扇葉大小會有所差距，較易晃動	不易切割扇葉，每片扇葉大小會有所差距	扇由電腦設計列印，扇葉一致，且不易晃動



結論：3D 扇葉可以讓扇葉大小一致，減少彼此間的差異性，因此研究利用 3D 設計列印扇葉後，再進行實驗。接著探討扇葉要裝置在何種樣式木塊上呢？

B 扇葉裝置木塊：

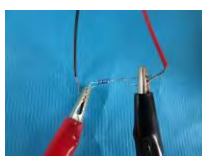
不同樣式木塊比較：圓形木塊較重且不易畫線，三角形木塊可以在上面畫線且適合裝置三片葉片，正方形木塊不適合裝置三片葉片。

裝置方式				
	木塊上畫等分線	在木塊上打洞	裝置上葉片	裝置上小馬達

總結：將 3D 列印扇葉裝置在三角形木塊上進行實驗。

C 扇葉裝置小馬達：

不同樣式小馬達比較：前面測試結果發現有些電壓、電流值不一定成正比關係，發現主要是因為小馬達不穩定所造成，因此測試不同樣式小馬達後，選用可以測得穩定電壓、電流的小馬達。且接上電阻進行測試，如右圖：



研究三-2、探討扇葉打洞與否對發電效益的影響

構思概念：

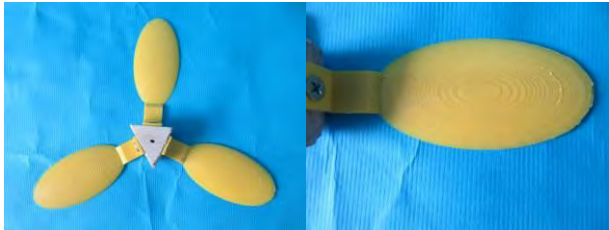
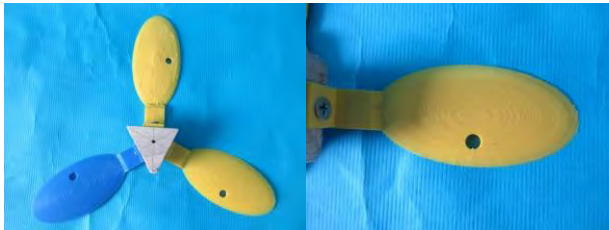
廣告看板上都有打洞以減少風阻，設想如果在風力發電葉片上打洞應該可以減少風阻，讓扇葉轉速更快。所以接下來在自製扇葉上打洞，研究其發電效益。

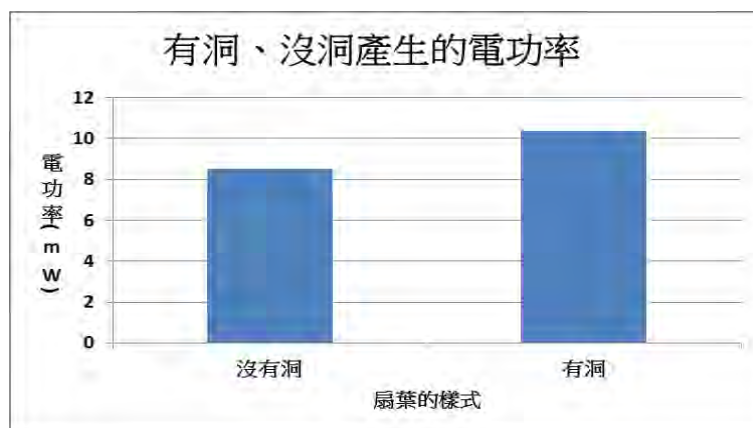
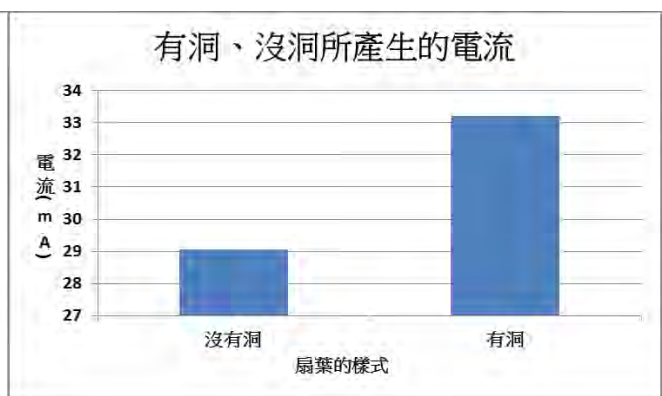
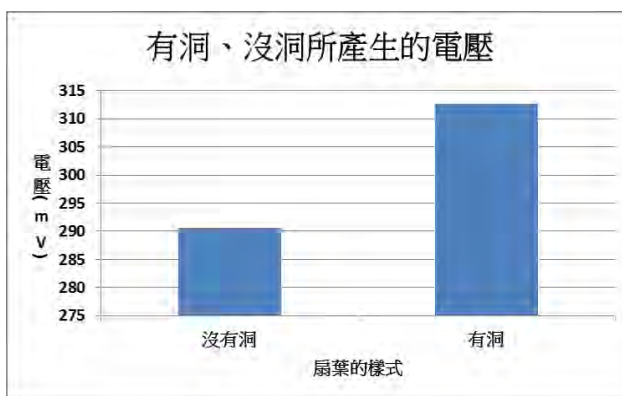
(一)、實驗步驟：

- 1.利用 3D 製作有洞、沒有洞的扇葉。
- 2.將步驟 1 中的扇葉裝置在木塊上，扇葉角度調至 60 度，製作成扇葉裝置。
- 3.將扇葉裝置裝上固定架後，進行測試電壓、電流值。

(二)、實驗結果：

表三-2-1 扇葉有洞沒有洞對發電效益的影響

有沒有洞	照片	電壓(mV)	電流(mA)	電功率(mW)
沒有洞		290.66	29.07	8.50
有洞		312.67	33.20	10.38



(三)發現與討論：

- 1.有洞、沒有洞扇葉，所形成電壓、電流、電功率都是有洞>沒有洞。
- 2.發現有洞的發電效益比沒有洞的發電效益佳。
- 3.推論氣流經過扇葉兩邊時，一邊有洞一邊沒有洞，讓兩邊所形成的氣流速度不同，因此產生的力不同，這差異讓扇葉轉動的速度變快，因此電功率提升了。

總結：

發電效益較佳的為橢圓形扇葉，在扇葉上打洞的效果會更佳。

研究三-3、探討扇葉上洞同側和對稱對發電效益的影響

構思概念：

扇葉上有洞可以提升電功率，在同樣洞數下，洞在葉片上同側和對稱，產生的電壓和電流值會相同嗎？

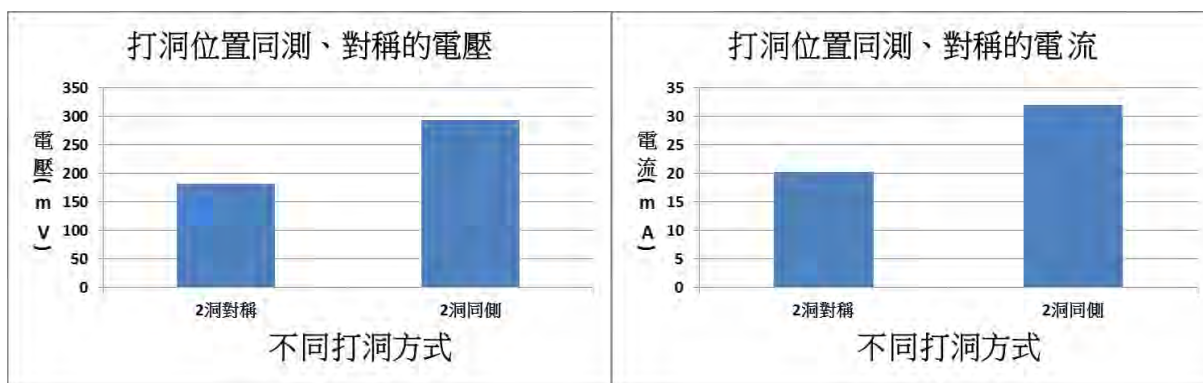
(一)、實驗步驟：

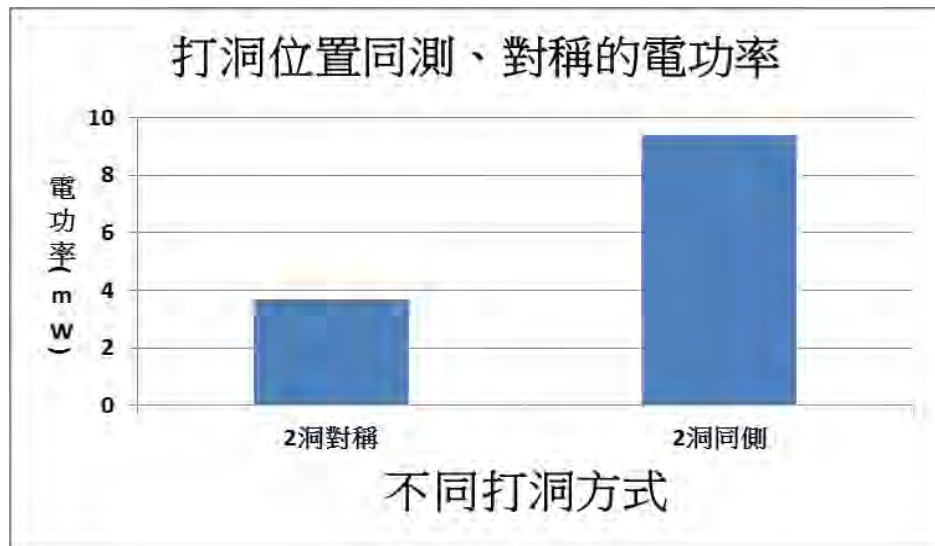
- 1.利用 3D 列印製作洞在扇葉對稱位置。洞在扇葉同側。
- 2.將上述扇葉裝置在木塊，扇葉角度調至 60 度，再裝上測試裝置，進行測試電壓、電流值。

(二)實驗結果：

表三-3-1 洞在扇葉同側和對稱位置對發電效益的影響

洞位置	照片	電壓(mV)	電流(mA)	電功率(mW)
兩洞對稱		182.25	20.20	3.68
兩洞同側		293.00	32.00	9.38





(三)發現與討論：

- 1.以電壓、電流、電功率來講，都是兩洞同側>兩洞對稱。
- 2.打洞位置在同一側所產生的發電效益較佳。
- 3.推論洞打在同側時，兩邊氣流的速度相近，因此扇葉上兩邊力產生的差異性較小，因此電功率較洞在對稱的低。

總結：

發現扇葉上打洞會提升發電效益推論主要是因為流經過扇葉兩邊時，一邊有洞一邊沒有洞，讓兩邊所形成的氣流速度不同，因此扇葉兩邊產生的力不同，這差異讓扇葉轉動的速度變快，因此電功率提升了。

研究三-4、探討扇葉上洞面積大小對發電效益的影響

構思概念：

橢圓形扇葉上打洞可以產生較佳的發電效益，那洞該打多大呢？

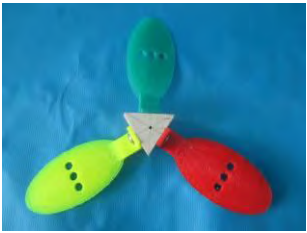
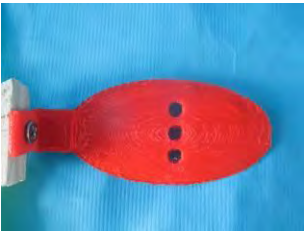
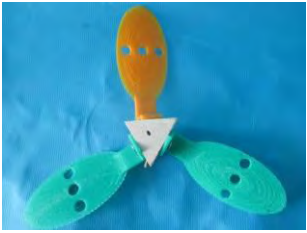
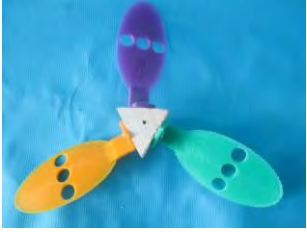
(一)、實驗步驟：

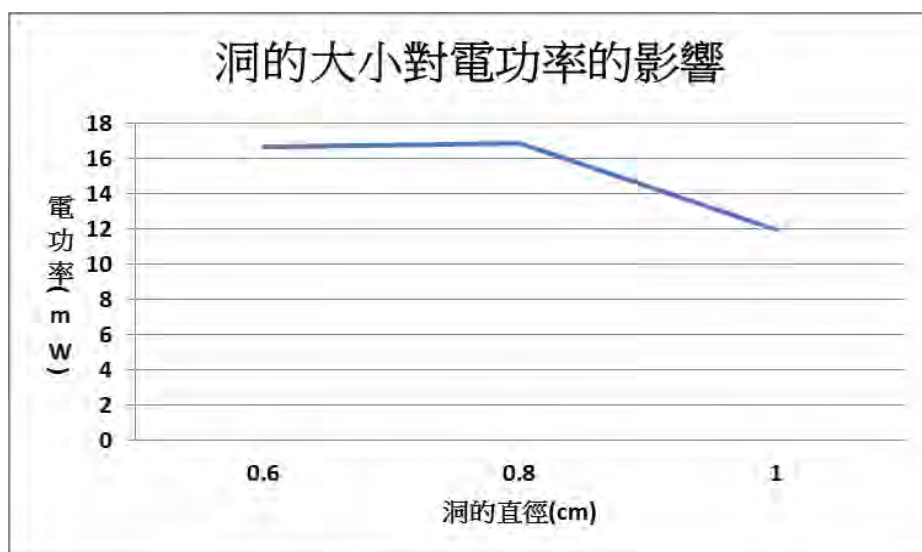
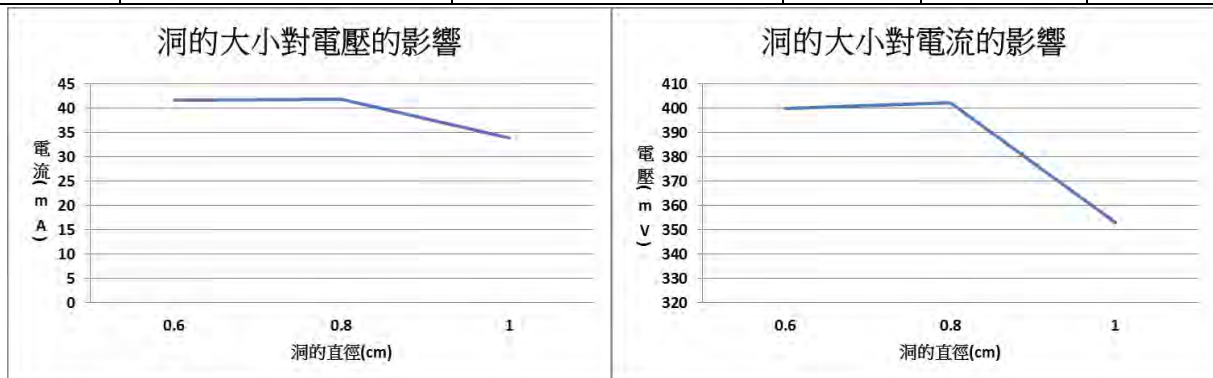
- 1.在扇葉上設計不同洞的大小，畫下草稿圖。
- 2.依據草稿圖，利用 **TINKERCAD 軟體**繪製不同打洞面積的扇葉，包含直徑 0.6 公分、0.8 公分、1 公分。
- 3.將步驟 2 中設計結果，利用 3D 列印機進行列印扇葉。
- 4.將列印完成扇葉進行組裝(扇葉數量為 3 片、裝置角度為 60 度)，再裝到測試裝置上進行實驗，記錄下所測得電壓和電流值。

設計不同打洞面積的扇葉(草稿圖)	3D 列印不同打洞面積的扇葉	準備不同洞面積的扇葉	

(二)、實驗結果：

表三-4-1 扇葉不同打洞面積的電壓、電流、電功率

洞直徑大小	照片		電壓 (mV)	電流 (mA)	電功率 (mW)
約 0.6 公分			400.00	41.70	16.68
約 0.8 公分			402.33	41.90	16.86
約 1 公分			353.00	33.90	11.97



(三)、發現與討論：

- 1.發現電壓、電流、電功率，都是直徑 0.8 公分 > 0.6 公分 > 1 公分。
- 2.發現發電效益較佳的是直徑 0.8 公分，效果較為不好的則為直徑 1 公分。
- 3.打洞的面積太大或太小效果較不佳，以平均分配在扇葉上者較佳。
- 4.在實驗過程中，發現裝置角度會影響發電效益，例如：0 度的時候風扇不會轉動，因此接下來探討扇葉裝置角度對發電效益的影響。

研究四、研究扇葉打洞樣式對發電效益的影響

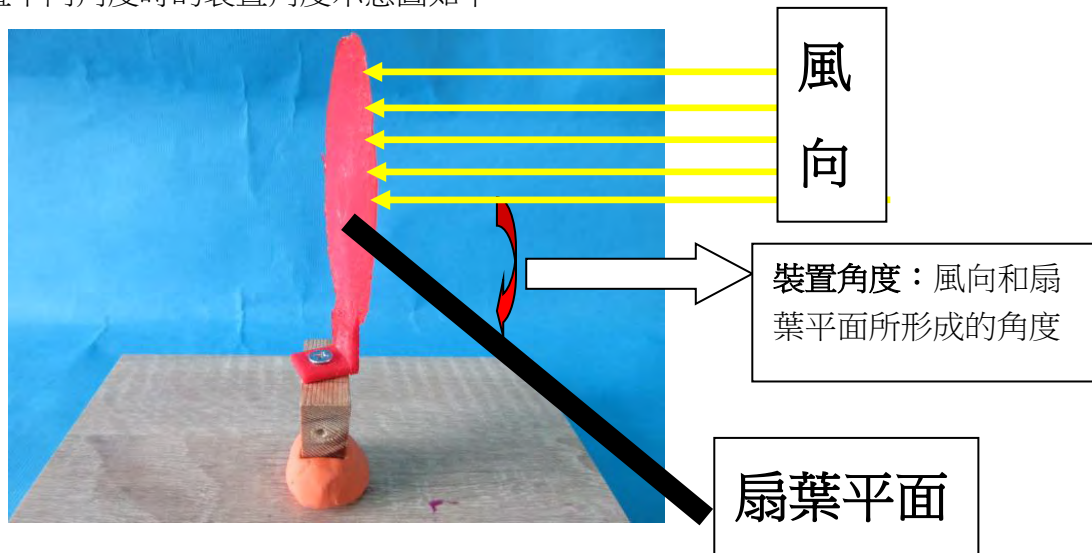
研究四-1、研究不同洞數的扇葉，裝置成不同角度時，所產生的發電效益

(一)、實驗步驟：

- 1.在扇葉上設計不同打洞的數量，畫下草稿圖。
- 2.再利用 **TINKERCAD 軟體**繪製不同打洞數量的扇葉，在扇葉下方分別打洞，1 到 6 洞。
- 3.將列印完成扇葉進行組裝成不同角度，再裝到測試裝置上進行測試，測試電壓和電流值。

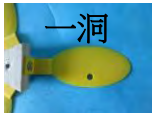
設計畫出不同洞數的扇葉	TINKERCAD 軟體設計不同洞數的扇葉、3D 列印扇葉	
扇葉成品	調整風扇角度(50 度到 130 度)	轉動整流器
轉動風扇裝置以產生電力		測試電壓、電流值

5.扇葉裝置不同角度時的裝置角度示意圖如下，

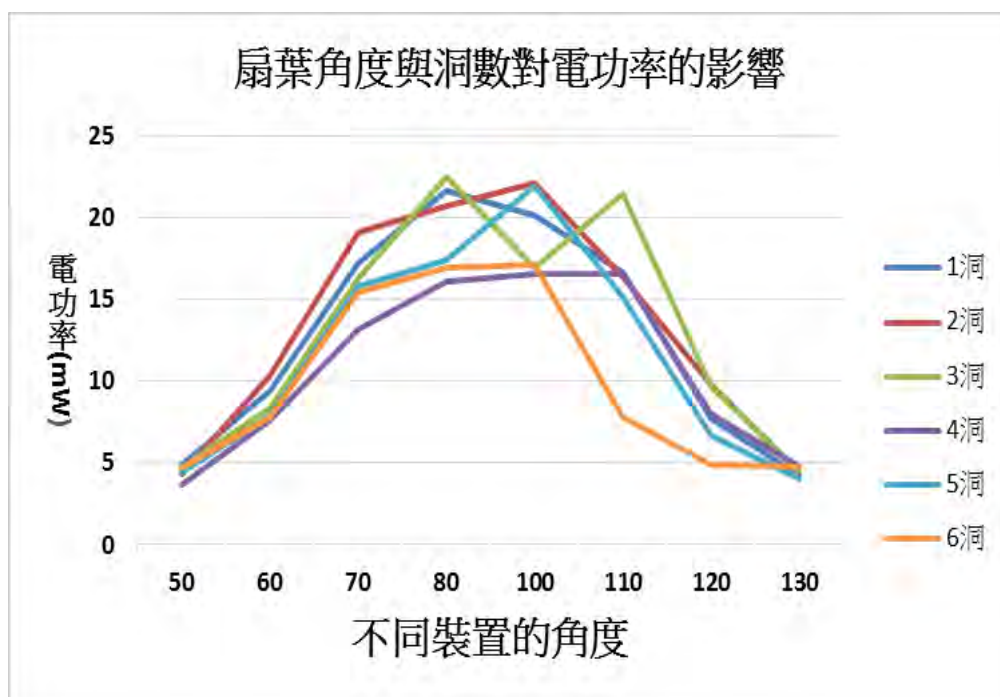
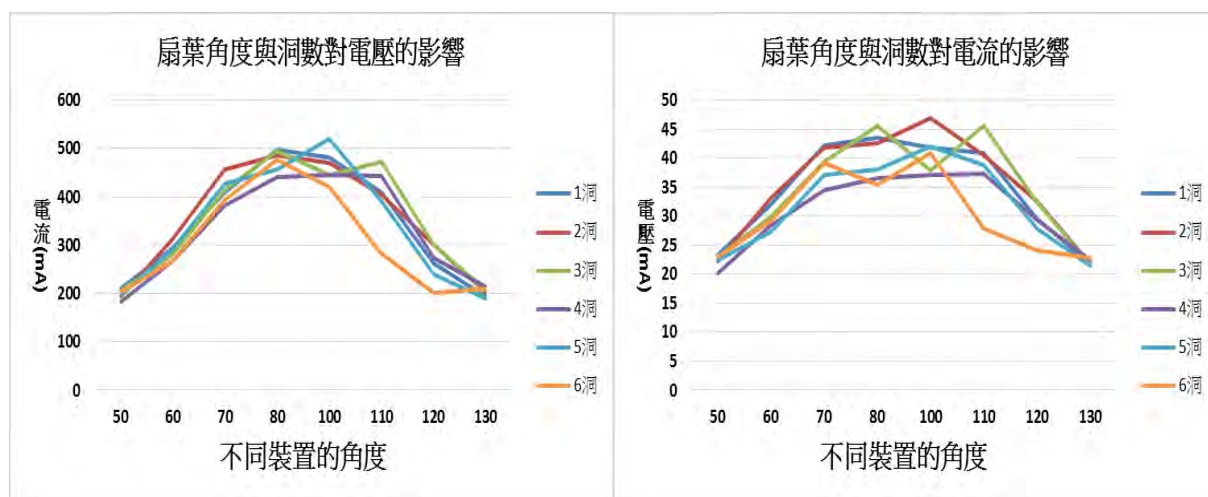


(二)、實驗結果：

表四-1-1 不同洞數扇葉裝置成不同角度的發電效益

洞數	測試項目	50 度	60 度	70 度	80 度	100 度	110 度	120 度	130 度
 	電壓(mV)	210.00	293.00	410.00	498.00	481.67	409.67	262.00	195.33
	電流(mA)	23.30	32.00	12.13	43.47	41.87	40.80	29.63	21.80
	電功率(mW)	4.89	9.38	17.27	21.65	20.17	16.71	7.76	4.26
 	電壓(mV)	194.00	312.67	457.33	486.67	471.00	404.66	300.00	202.33
	電流(mA)	22.27	33.20	41.90	42.53	46.97	40.43	32.60	21.80
	電功率(mW)	4.32	10.38	19.16	20.70	22.12	16.36	9.78	4.41
 	電壓(mV)	206.33	280.67	414.00	494.33	46.33	471.67	299.67	207.00
	電流(mA)	22.93	29.87	39.43	45.60	37.93	45.60	32.43	21.70
	電功率(mW)	4.73	8.38	16.33	22.54	16.93	21.51	9.72	4.49
 	電壓(mV)	182.33	266.00	382.00	440.66	445.00	443.33	274.33	214.33
	電流(mA)	20.10	28.53	34.46	36.53	37.16	37.33	29.30	22.36
	電功率(mW)	3.66	7.59	13.16	16.10	16.54	16.55	8.04	4.79

 	電壓(mV)	197.33	291.00	427.67	456.33	520.33	391.00	239.33	190.33
	電流(mA)	22.45	27.30	37.10	38.10	42.10	38.87	27.93	21.43
	電功率(mW)	4.42	7.94	15.87	17.39	21.91	15.20	6.69	4.08
 	電壓(mV)	203.00	266.67	394.33	477.00	421.33	281.67	202.00	211.33
	電流(mA)	23.07	29.13	39.23	35.50	40.80	27.87	24.03	22.83
	電功率(mW)	4.68	7.77	15.47	16.93	17.19	7.85	4.85	4.82



(三)、發現與討論：

1.以洞數來說，各角度發電效益的排名如下：

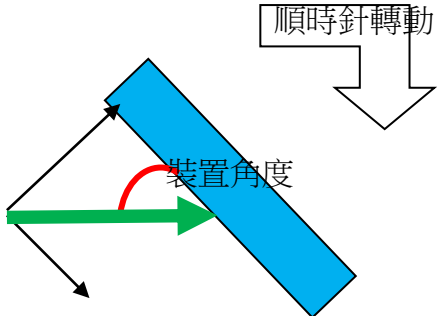
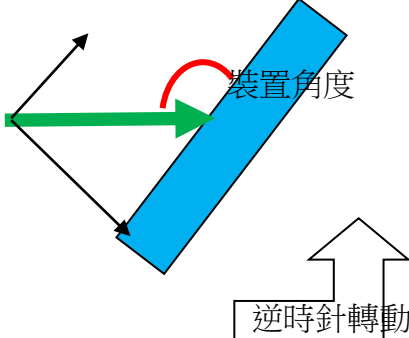
角度洞數	50 度	60 度	70 度	80 度	90 度	100 度	110 度	120 度	130 度
一洞	7	5	3	1	0	2	4	6	8
二洞	8	5	3	2	0	1	4	6	7
三洞	7	6	4	1	0	3	2	5	8
四洞	8	6	4	3	0	2	1	5	7
五洞	7	5	3	2	0	1	4	6	8
六洞	7	5	3	2	0	1	4	6	8

1-1.發現裝置角度為 10 度、20 度、90 度、170 度、180 度時，扇葉無法轉動，測不到電壓電流值。且 30 度、40 度、140 度、150 度則發電效果不佳。

1-2.發電效益較佳的是將風扇裝置成 80 度和 100 度。發電效益較不佳的是將風扇裝置成 50 度和 130 度。

1-3.發電效益最佳前三名為 3 洞裝置成 80 度、2 洞裝置成 100 度、5 洞裝置成 100 度。

1-4.發現扇葉裝置成不同角度時，轉動的方向會有所不同，整理如下表：

扇葉裝置角度	扇葉轉動的方向	示意圖	說明
0 度到 90 度	順時針方向轉動		綠色箭頭為風力大小，黑色箭頭為風力的分力結果。
90 度到 180 度	逆時針方向轉動		

1-5.發現當裝置角度為 0 度到 90 度時，扇葉會逆時針方向轉動，裝置角度為 90 度到 180 度時，扇葉會順時針方向轉動。

總結：1.發電效益較佳的是將風扇裝置成 80 度和 100 度。最佳是將 3 洞扇葉裝置成 80 度。
2.發電效益較不佳的是將風扇裝置成 50 度和 130 度。
3.裝置角度為 0 度到 90 度時，扇葉會逆時針方向轉動，裝置角度為 90 度到 180 度時，扇葉會順時針方向轉動。

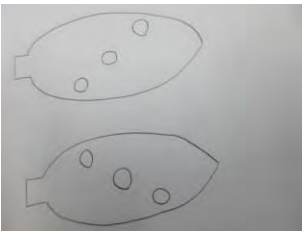
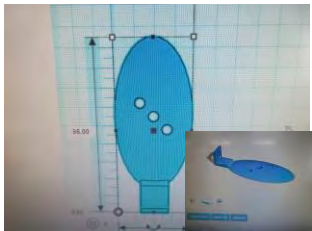
研究四-2、探討扇葉上洞的排列方式對發電效益的影響

構思概念：

之前研究將扇葉上的洞打在扇葉邊緣，如果更改打洞的位置對電壓和電流值的影響為何呢？進行下面研究。

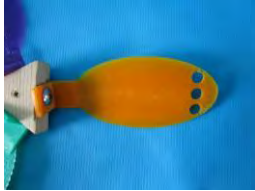
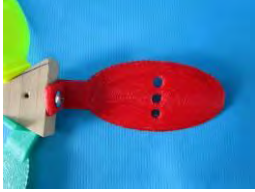
(一)、實驗步驟：

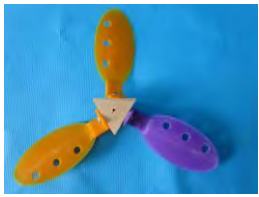
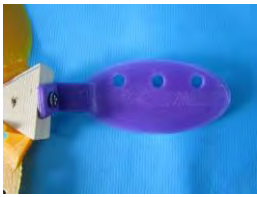
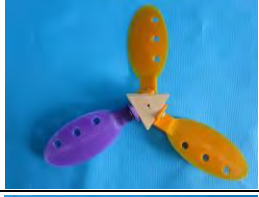
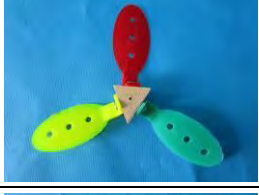
- 1.在扇葉上設計不同打洞的位置，畫下草稿圖。以發電效益佳的三洞扇葉為設計藍本。
- 2.依據草稿圖，利用 **TINKERCAD 軟體**設計繪製不同打洞位置的扇葉。
- 3.將步驟 2 中設計結果，利用 3D 列印機進行列印不同打動位置的扇葉。
- 4.將列印完成扇葉進行組裝(扇葉數量為 3 片、裝置角度為 80 度和 100 度)，再裝到測試裝置上進行測試，記錄下所測得電壓和電流值。

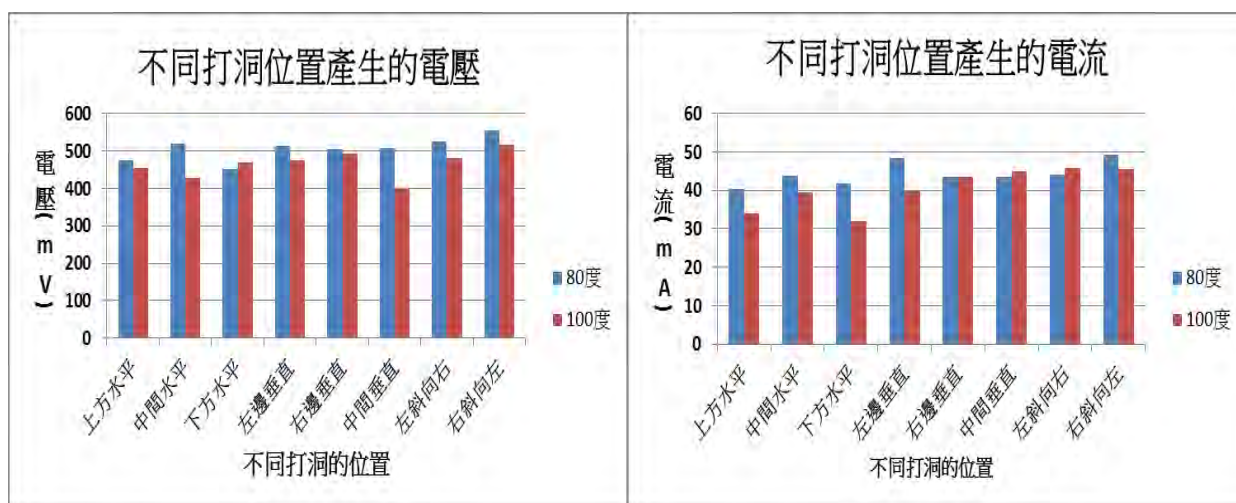
			
設計扇葉洞不同排列方式(草稿圖)	3D 列印設計圖	準備不同打洞位置的扇葉	

(二)、實驗結果：

表四-2-1 扇葉不同打洞位置所產生的電壓、電流、電功率

打洞位置	照片		角度	電壓(mV)	電流(mA)	電功率(mW)
上方水平			80 度	475.00	40.47	19.22
			100 度	454.00	34.07	15.45
中間水平			80 度	519.33	43.70	22.69
			100 度	428.33	39.50	16.92

下方水平			80度	451.33	41.90	18.91
			100度	469.00	32.03	15.02
左邊垂直			80度	513.33	48.37	24.83
			100度	475.33	39.63	18.84
右邊垂直			80度	505.33	43.60	22.03
			100度	494.00	43.40	21.44
中間垂直			80度	506.33	43.57	22.06
			100度	397.67	44.83	17.83
左斜向右			80度	524.67	44.63	23.42
			100度	480.00	45.87	22.02
右斜向左			80度	554.00	49.37	27.35
			100度	516.00	45.47	23.46





(三)、發現與討論：

在扇葉不同位置上打洞後，

1. 裝置角度 80 度時，發電效益為右斜向左>左邊垂直>左斜向右>中間水平>中間垂直>右邊垂直>上方水平>下方水平。
2. 裝置角度 100 度時，發電效益為右斜向左>左斜向右>右邊垂直>左邊垂直>中間垂直>中間水平>上方水平>下方水平。
3. 發現左邊垂直和右邊垂直的發電效益裝置角度不同時有很大的差異，推論當裝置角度為 80 度時，扇葉會順時針轉動，此時洞打在左邊垂直方向，發電效益較高。當裝置角度為 100 度時，扇葉會逆時針轉動，此時洞打在右邊垂直方式，發電效益較高
4. 當洞打成水平方向時，兩種角度的發電效益都不佳，尤其是上方水平和下方水平。
5. 當洞打成右斜向左或左斜向右，推論斜向的洞，讓氣流在流動時，可以在扇葉兩邊形成較大的力差異，因此提高發電效益。

研究四-3、探討扇葉上洞與洞間距離對發電效益的影響

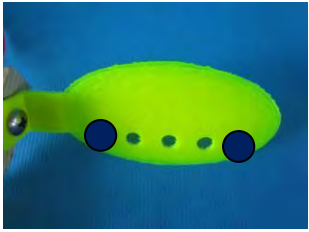
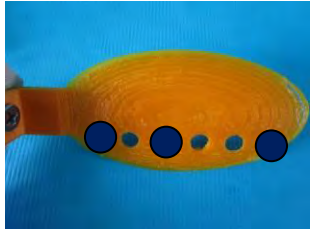
(一)、實驗步驟：

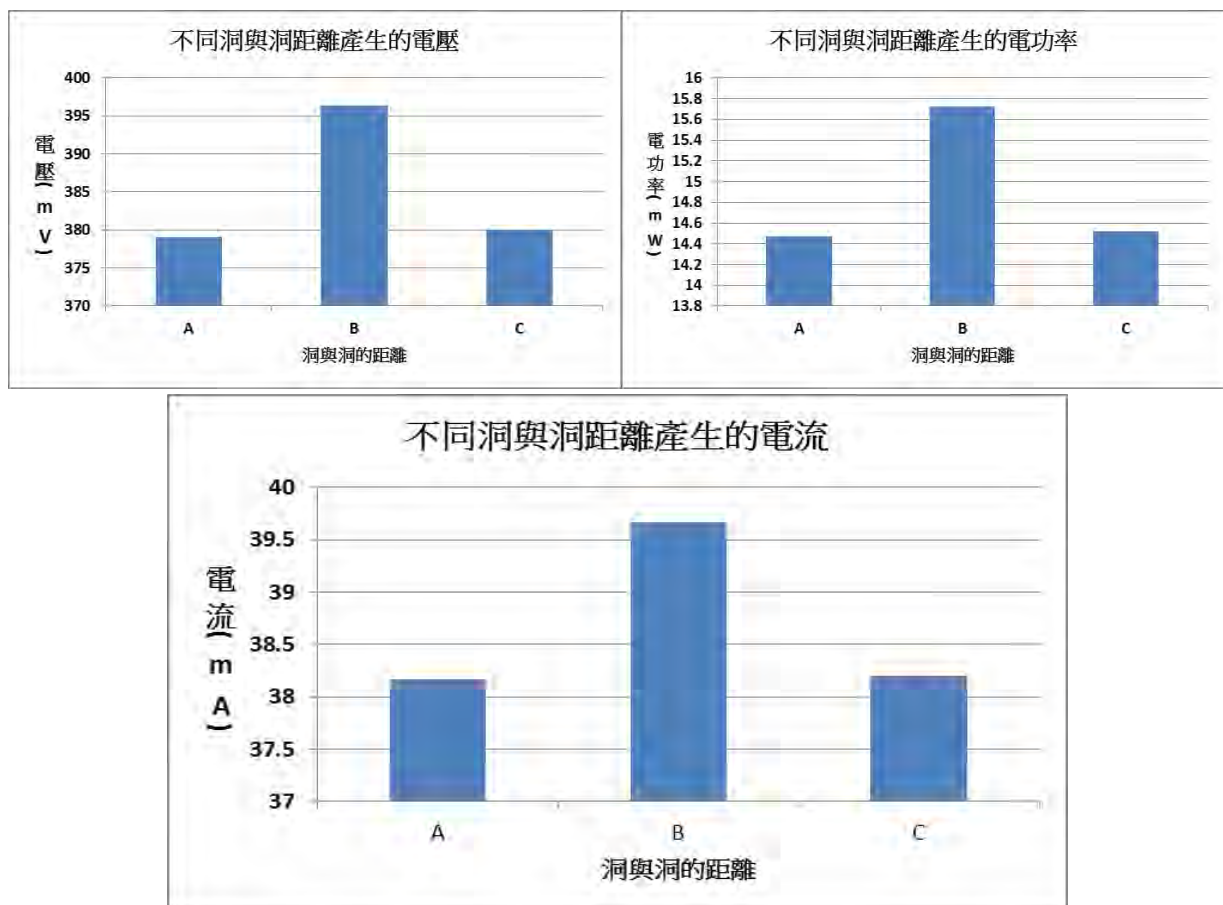
1. 設計洞和洞間距離不同的扇葉，畫下草稿圖。依圖，將打上 5 洞和 6 洞的扇葉黏貼上膠帶。
3. 將步驟 2 中的扇葉進行組裝(扇葉數量為 3 片、裝置角度為 80 度)，再裝到測試裝置上進行測試，記錄下所測得電壓和電流值。



(二)、實驗結果：

表四-3-1 不同洞和洞的間距所產生的電壓、電流、電功率

洞距	照片	電壓 (mV)	電流 (mA)	電功率 (mW)	洞距	照片	電壓 (mV)	電流 (mA)	電功率 (mW)
A		379.00	38.17	14.47	C		380.00	38.20	14.52
B		396.33	39.67	15.72					



(三)、發現與討論：

扇葉上洞和洞間的距離不同，

- 1.發現以電壓來講， $B > C > A$ 。
- 2.發現以電流來講， $B > C > A$ 。
- 3.發現以電功率來講， $B > C > A$ 。

4.發現發電效益較佳的是 B，效果較為不好的則為 A。

5.發現 B 的發電效益較佳，洞和洞間的距離等距且不要密集平均的分配在扇葉，所產生的發電效益會較佳。

結論：

洞和洞的距離等距離，且平均的分配在扇葉，所產生發電效益會較佳。

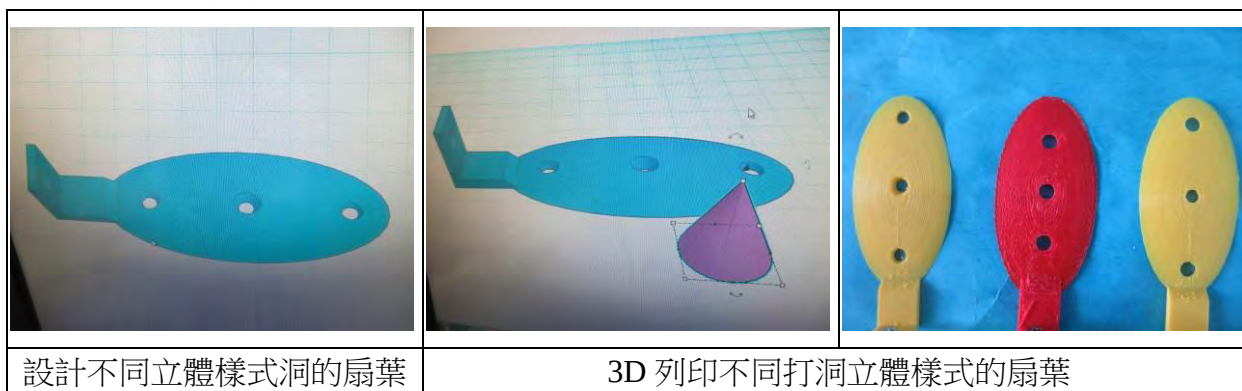
研究四-4：探討洞立體樣式對發電效益的影響

構思概念：

嘗試將洞打成由大到小、有小到大，測試對電功率的影響。

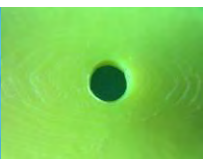
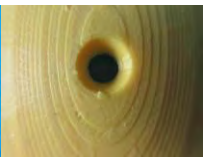
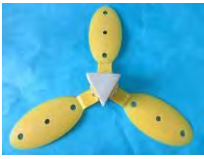
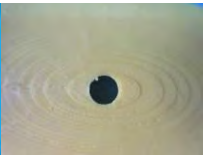
(一)、實驗步驟：

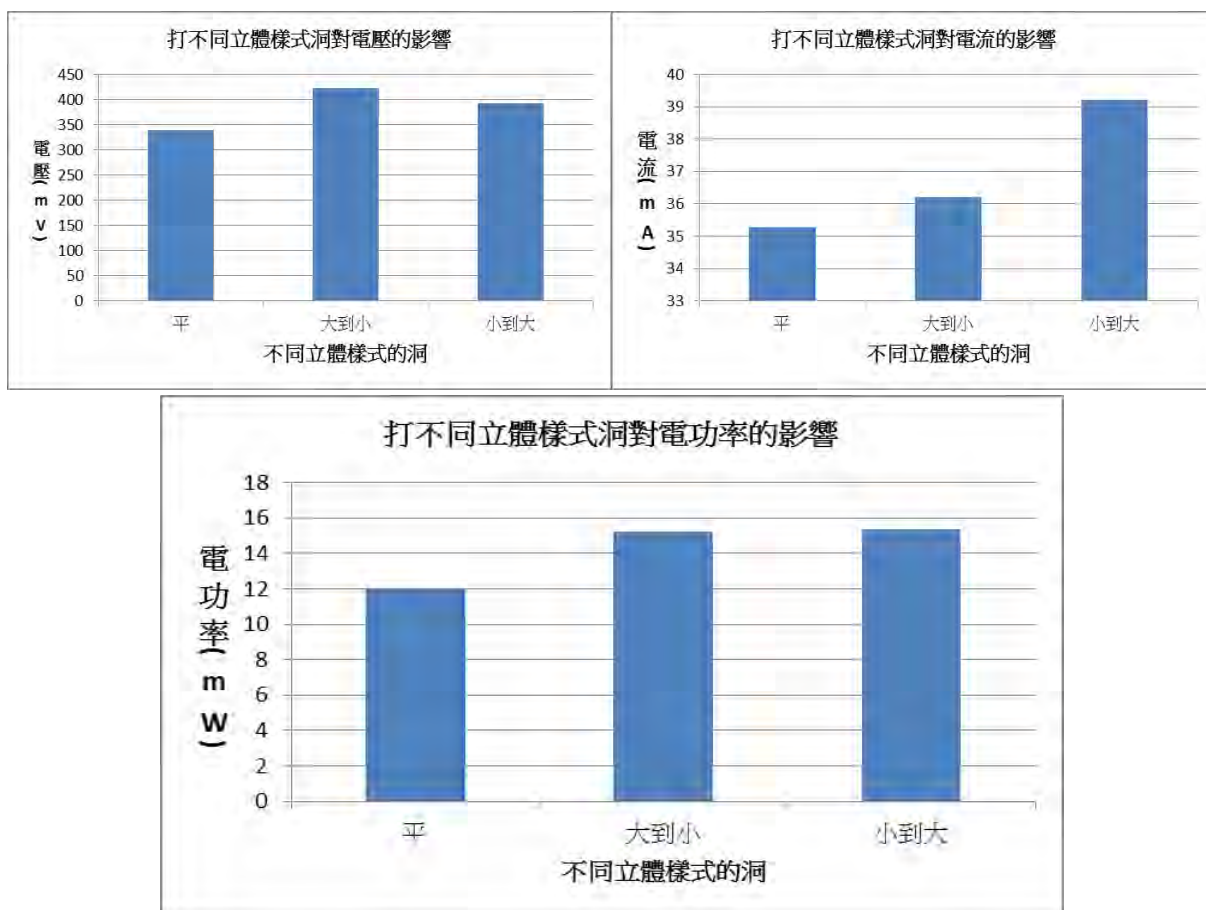
- 1.在扇葉上設計不同立體形狀洞的扇葉，畫下草稿圖，包含平、大到小、小到大。
- 2.依據草稿圖，利用 **TINKERCAD 軟體**繪製不同立體樣式的扇葉，再利用 3D 列印機進行列印扇葉。
- 3.將列印完成扇葉進行組裝(扇葉數量為 3 片、裝置角度為 80 度)，再裝到測試裝置上進行測試，記錄下所測得電壓和電流值。



(二)、實驗結果：

表四-4-1 不同立體樣式打洞方式對電壓、電流、電功率的影響

洞立體樣式	照片		電壓 (mV)	電流 (mA)	電功率 (mW)
平		 	339.00	35.27	11.96
由大到小		 	422.33	36.20	15.23
由小到大		 	392.00	39.20	15.37



(三)、發現與討論：

- 1.以洞的立體樣式來說，洞由小到大所產生的發電效益較高，再來為洞由小到大，洞是平的所產生的發電效益最差。
- 2.發現在扇葉上打洞立體樣式可以利用由小到大的方式，以增加發電效益。

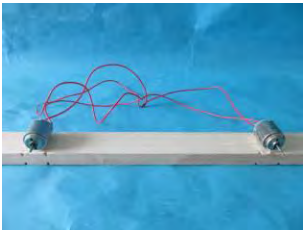
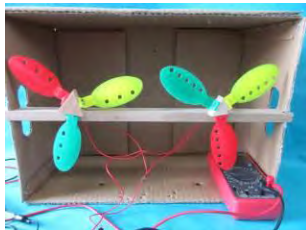
研究五：串聯和並聯扇葉裝置對發電效益的影響

研究五-1：自製可以串聯和聯扇葉裝置的器具

(一)、實驗步驟：

A 裝置材料：紙箱、木棍、小馬達、電線、風扇裝置。

B 裝置步驟：

			
木板上裝置 小馬達、連接電線	將木板固定在紙箱上	單一組風扇裝置 在小馬達上	串聯、並聯兩組扇葉 裝置，測試電功率

研究五-2：串聯和並聯扇葉裝置對發電效益的影響

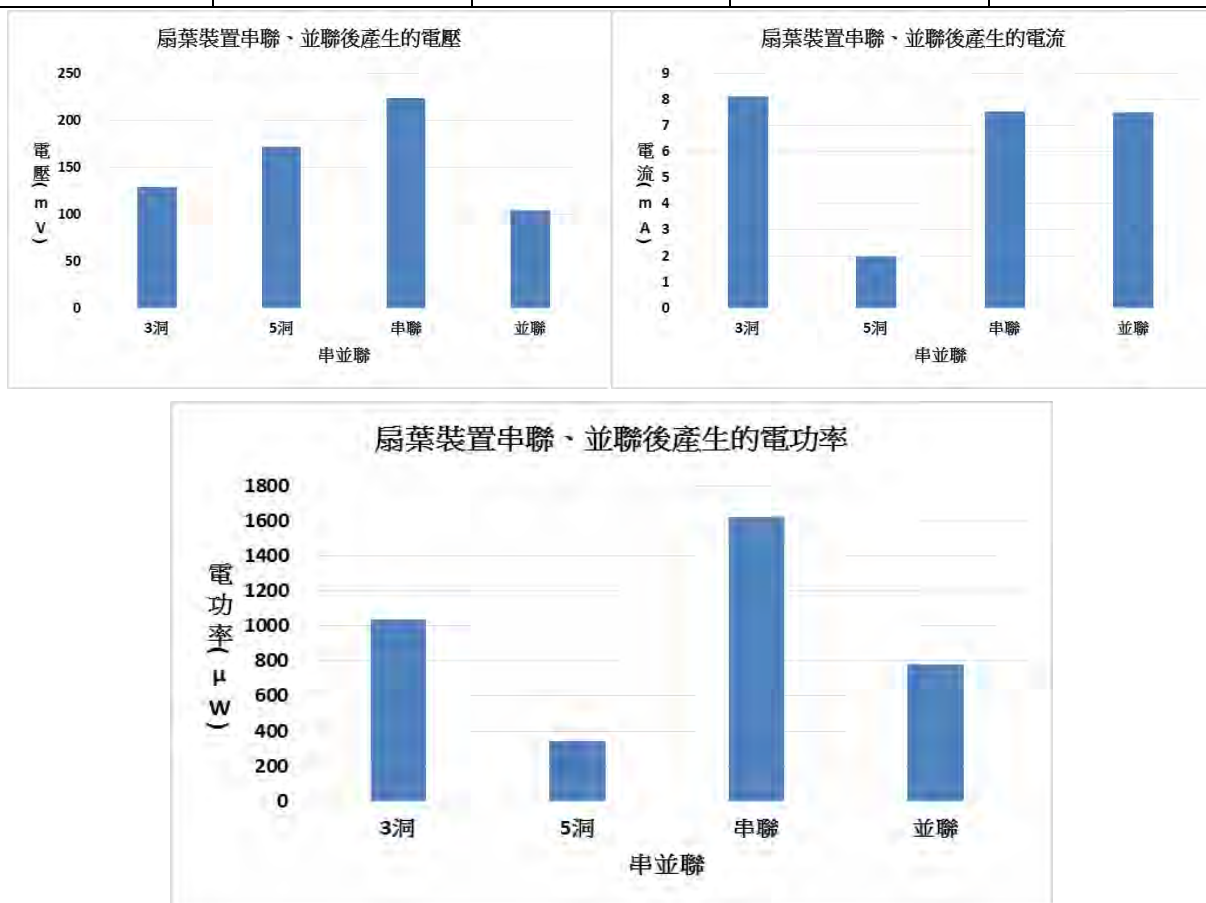
(一)、實驗步驟：

- 1.準備兩組扇葉裝置，3 洞裝置成 80 度和 5 洞裝置成 100 度。
- 2.將扇葉裝置在步驟 2 的裝置中，測試兩組扇葉串聯和並聯時所產生的電壓、電流值。

(二)、實驗結果：

表五-2-1 扇葉裝置串聯、並聯產生的發電效益

裝置方式	1 個扇葉裝置 3 洞 80 度	1 個扇葉裝置 5 洞 100 度	串聯 2 個 扇葉裝置	並聯 2 個 扇葉裝置
照片				
電壓(mV)	128.41	171.34	223.2	104.14
電流(mA)	8.10	1.99	7.54	7.45
電功率(μW)	1039.44	340.10	1618.82	780.53



(三)、發現與討論：

- 1.以電壓來說，串聯 2 個 > 單 1 個(5 洞) > 單 1 個(3 洞) > 並聯 2 個。
- 2.以電流來說，單 1 個(3 洞) > 串聯 2 個 > 並聯 2 個 > 單 1 個(5 洞)。
- 3.電功率串聯 2 個 > 單 1 個(3 洞) > 並聯 2 個 > 單 1 個(5 洞)。
- 4.將扇葉發電裝置串聯之後所產生發電效益較佳。

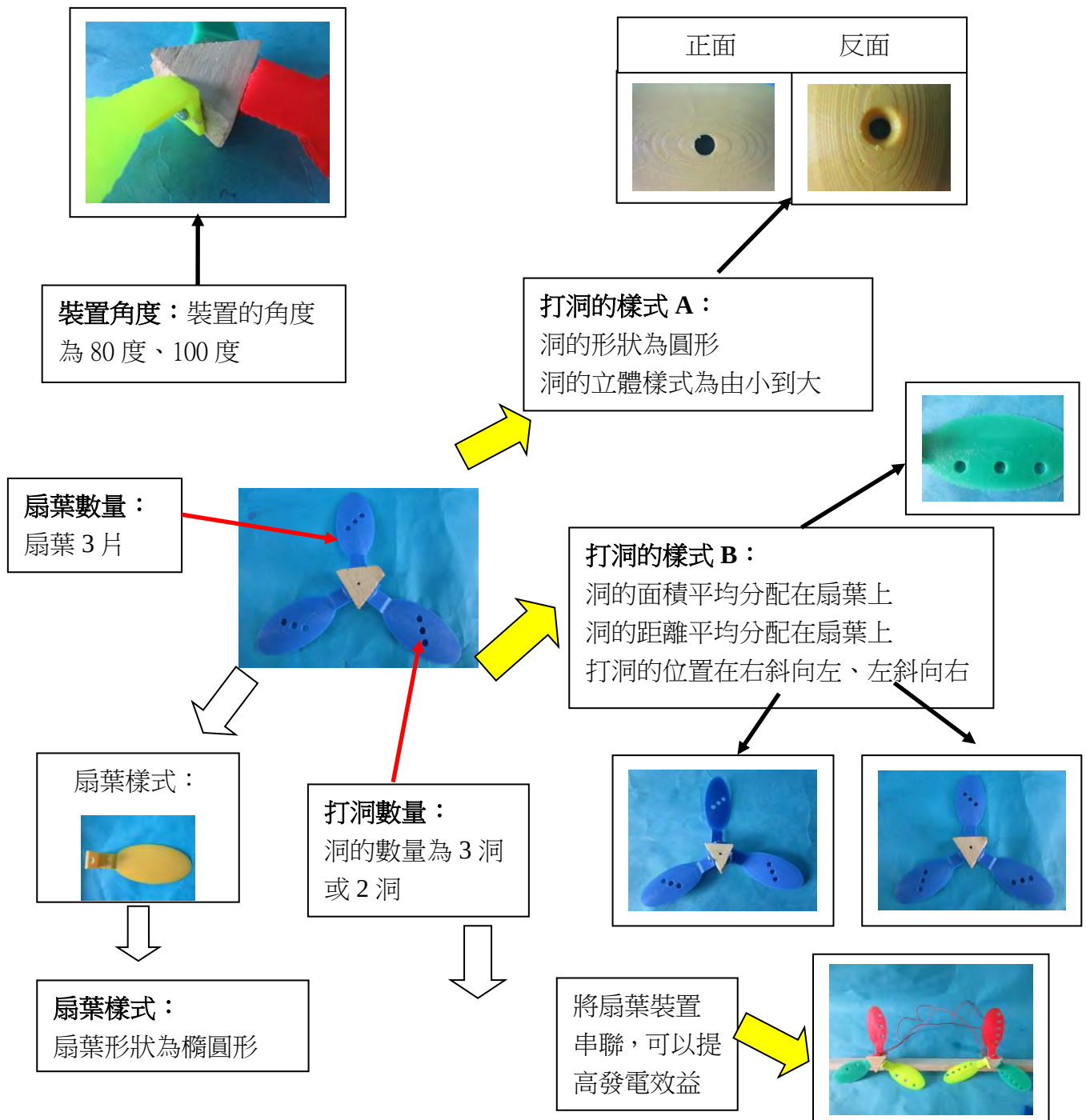
研究六：如何實際應用在風力發電上

經過一連串的研究探討後，發現如果需要提升風力發電的效益，建議扇葉的設計可以如下，

設計說明：

建議扇葉數量為三片，扇葉形狀為橢圓形，建議打 3 或 2 個洞、形狀為圓形，立體樣式為有小到大，洞平均分配在扇葉上，洞排列方式可以利用右斜向左或左斜向右，裝置角度為 80 度或 100 度，串聯可以提高發電效益。

最佳扇葉說明如下：



柒、研究結論

一-1、影響自製測試風力發電效益裝置的因素為何呢？

- 1.風力大小不同下，扇葉轉動的情形不同，形成的電壓、電流值不同，風力越大所產生的電功率越高，所以要固定風力，才可以進行相關實驗。
- 2.風吹動扇葉裝置右側和中間所形成的電壓、電流會較佳，但是右側會讓風扇轉動不穩定，因此風力以中間較佳。

一-2、如何自製測試風力發電效益裝置呢？

首先製作可以形成穩定風力的裝置，接著製作可以固定風扇裝置以及測試所產生電壓、電流值的裝置。

二、扇葉上有打洞、沒有打洞對發電效益的影響為何呢？

發現扇葉上打洞會提升發電效益，推論主要是因為氣流經過扇葉兩邊時，一邊有洞、一邊沒有洞，讓兩邊所形成的氣流速度不同，因此扇葉兩邊產生的力不同，這差異讓扇葉轉動的速度變快，因此電功率提升了。

三、扇葉數量、扇葉形狀對發電效益的影響為何呢？

- 1.以扇葉數量來說，發電效益較佳的為扇葉 3 個。且扇葉 3 片轉動情形較為穩定。
- 2.以扇葉樣式來說，發電效益較佳的為橢圓形扇葉，在扇葉上打洞的效果會更佳。

四、自製扇葉裝置的方式為何呢？

3D 扇葉可以讓扇葉大小一致，減少彼此間的差異性，且將 3D 列印扇葉裝置在三角形木塊上，因為三角形木塊可以在上面畫線且適合裝置三片葉片。

五、不同洞數的扇葉，裝置成不同角度時，所產生的發電效益為何呢？

- 1.發電效益較佳的是將風扇裝置成 80 度和 100 度。最佳是將 3 洞扇葉裝置成 80 度。
- 2.發電效益較不佳的是將風扇裝置成 50 度和 130 度。
- 3.裝置角度為 0 度到 90 度時，扇葉會逆時針方向轉動，裝置角度為 90 度到 180 度時，扇葉會順時針方向轉動。

六、扇葉打洞樣式對發電效益的影響為何呢？

六-1、扇葉上洞的排列方式對發電效益的影響為何呢？

- 1.打洞的時候將洞打在扇葉同一側，可以產生較高的發電效益。
- 2.當裝置角度為 80 度時，扇葉會順時針轉動，此時洞打在左邊垂直方向，發電效益較高。當裝置角度為 100 度時，扇葉會逆時針轉動，此時洞打在右邊垂直方式，發電效益較高。
- 3.當洞打成水平方向時，兩種角度的發電效益都不佳，尤其是上方水平和下方水平。
- 4.當洞打成右斜向左或左斜向右，推論斜向的洞，讓氣流在流動時，可以在扇葉兩邊形成較大的力差異，因此提高發電效益。

六-2、扇葉上洞與洞間距離對發電效益的影響為何呢？

扇葉上洞和洞的距離等距離，且平均的分配在扇葉，所產生發電效益會較佳。

六-3、扇葉上打洞面積大小對發電效益的影響為何呢？

以扇葉上打洞面積大小來說，打洞的面積太大或太小效果較不佳，以平均分配在扇葉上者較佳。

六-4、扇葉上洞立體樣式對發電效益的影響為何呢？

在扇葉上打洞的時候，只要打平行洞就可以增加扇葉發電的效益，如果將打洞的立體樣式更改為由小到大，則可以產生更高的發電效益。

七、串聯和並聯扇葉裝置對發電效益的影響為何呢？

以扇葉串並聯來說，串聯之後所產生發電效益較佳。

八、扇葉裝置的實際應用：

建議扇葉數量為三片，扇葉形狀為橢圓形，比例在排除風阻下，可以考慮大一些的扇葉，扇葉打洞可以提升發電效益，建議打 3 或 2 個洞、形狀為圓形，立體樣式為有小到大，洞平均分配在扇葉上，洞排列方式可以利用右斜向左或左斜向右，裝置角度為 80 度或 100 度，串聯可以提高發電效益。

捌、參考資料

1.顏世枋等(2018)。巧妙的施力工具。自然與生活科技六下。台南市：南一。

2.顏世枋等(2018)。真愛家園。自然與生活科技六下。台南市：南一。

3.力與運動。自然與生活科技六下。台南市：康軒。

4.風力發電廠。維基百科。取自

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%A2%A8%E5%8A%9B%E7%99%BC%E9%9B%BB%E5%BB%A0>。

5.白努力定理。維基百科。取自

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E4%BC%AF%E5%8A%AA%E5%88%A9%E5%AE%9A%E5%BE%8B>

6.影片【生活裡的科學】20180119-風力發電潛力無限。取自

<https://www.youtube.com/watch?v=HjOmbRaZOgU>

7.中華民國第 52 屆中小學科學展覽會作品，轉出活力與光彩-可動式葉片組垂直軸風力發電機之探究與應用。

【評語】 080107

本作品很詳盡的探討各種可能影響風力發電機扇葉的參數(扇葉形狀、數量、裝置角度，以及打洞與否與洞數量、面積、結構、洞距、排列方式)，應屬完備。自製吸管風源是不錯的選擇。有系統地討論了固定風原在無孔洞對的風扇產生電功率的影響。這個對於實際的應用有直接的助益，整體的討論也算是有系統。一系列不同的系統調整到最佳化的情況，算是還不錯的工作。實驗變因討論詳實，研究主題有意義。研究想法有創意。實驗變因設計豐富。唯部分實驗的承續性以及邏輯須注意，了解有關物理原理之推論需再釐清，研究結果若能做出實際應用會更佳。

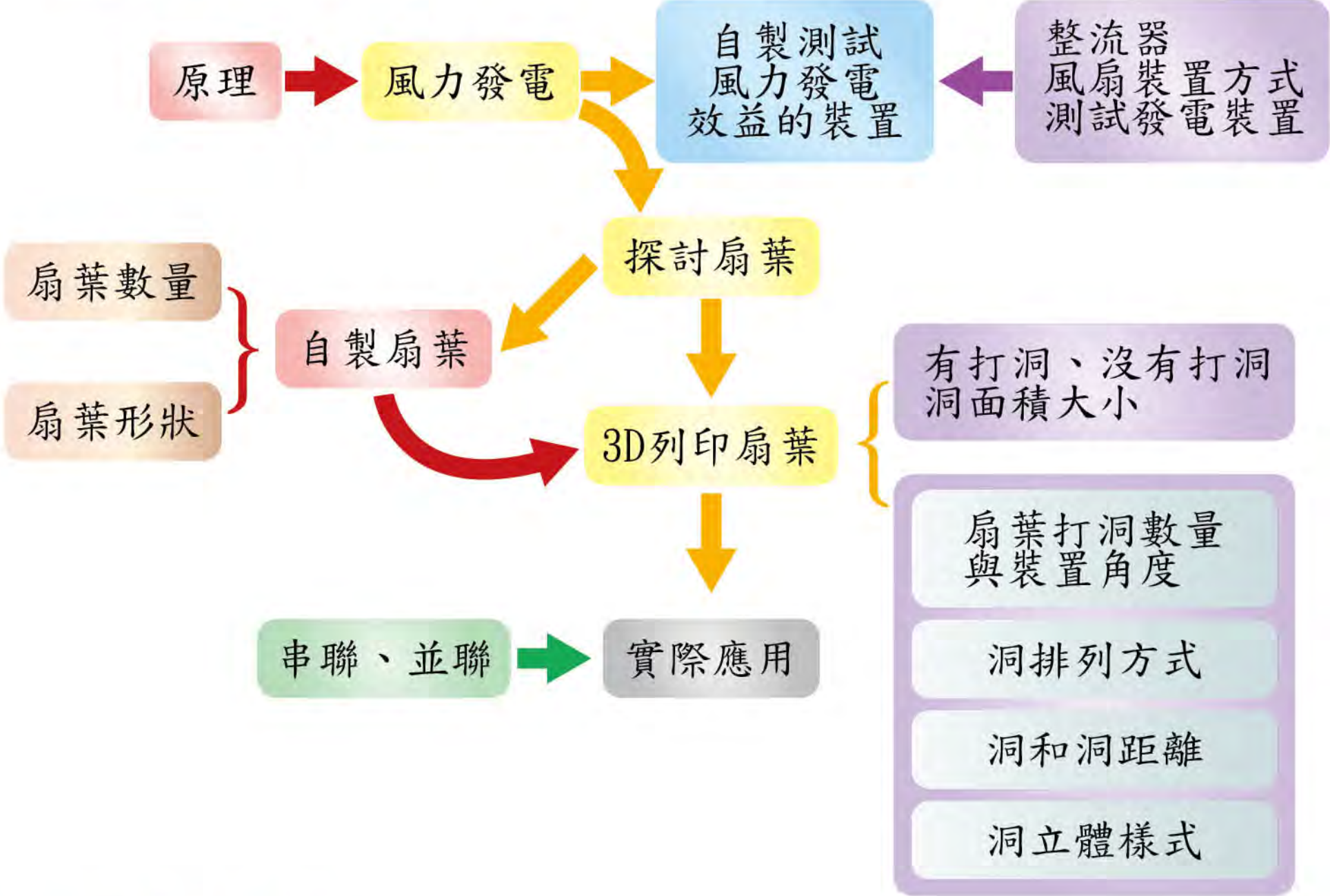
摘要

主要探討風力發電機扇葉上打洞鏤空是否可提高發電量。如果風扇葉面打洞後，減少風阻、提高轉速，進而可增加發電效益，為了驗證此推論，在扇葉上用不同方式打洞，測試對發電效益的影響。首先自製測試風力發電效益裝置，包含整流器、扇葉裝置、以及測試電力裝置。在初步測試後，利用3D列印扇葉，固定扇葉的樣式。接著探討扇葉形狀、數量、是否打洞、扇葉打洞數量、裝置角度、打洞面積、洞立體樣式、洞距、洞排列方式等，對發電效益的影響。發現扇葉數量為三片，扇葉形狀為橢圓形，裝置角度為80或100度，打3或2個洞，立體樣式為由大到小，洞平均分配打在扇葉上，洞排列方式可以利用右斜向左、左斜向右，且串聯可提高發電效益。

壹、研究動機

在能源短缺的情況下，我們希望能以低碳的方式發電，達成非核家園的夢想，於是研究如何讓風力發電的發電扇葉轉得更快、發電效益愈高。我們觀察廣告看板上都有打洞，這和減少風阻有關，設想葉片的迎風面因風的推力而旋轉，此時葉片的背風面則須承受空氣的阻力，如果在風力發電葉片上打洞應該可以減少葉片背風面的風阻，讓扇葉轉速更快。所以為了證實這項推論，我們在自製扇葉上打洞研究發電效益，希望能提供風力發電的發電效能。

貳、研究架構圖



參、研究目的

- 一、自製測試風力發電效益的裝置
 - 一-1、探討影響自製測試風力發電效益裝置的因素
 - 一-2、探討自製測試風力發電效益裝置的方式
- 二、研究扇葉對發電效益影響的初步測試
 - 二-1、探討扇葉數量對發電效益的影響
 - 二-2、探討扇葉形狀對發電效益的影響
- 三、研究自製扇葉裝置的方式
 - 三-1、探討自製扇葉裝置、改良測試發電效益的方式
 - 三-2、探討扇葉打洞與否對發電效益的影響
 - 三-3、探討扇葉上洞面積大小對發電效益的影響
- 四、研究扇葉打洞樣式對發電效益的影響
 - 四-1、研究不同洞數的扇葉，裝置成不同角度時，所產生的發電效益
 - 四-2、探討扇葉上洞的排列方式對發電效益的影響
 - 四-3、探討扇葉上洞與洞間距離對發電效益的影響
 - 四-4、探討扇葉上洞立體樣式對發電效益的影響
- 五、串聯和並聯扇葉裝置對發電效益的影響
 - 五-1、自製可以串聯和並聯扇葉裝置的器具
 - 五-2、串聯和並聯扇葉裝置對發電效益的影響
- 六、扇葉裝置的實際應用

肆、研究設備和材料

- 一、實驗設備：小馬達、螺絲起子、電子式三用電表、風扇、支架、固定夾、吸排兩用電風扇、量角器、剪刀、美工刀、3D列印機、3D列印線材、鋸子、長尺、風速計。
- 二、實驗材料：不同形狀木塊、木條、珍珠板、塑膠板、電線、吸管、紙板、紙箱、膠帶、電阻。

伍、研究原理

- 一、風力發電：發電過程風輪之所以轉動是因為葉片所受風的正壓力大於風輪旋轉過程中葉片所受阻力，所以葉片受力大小與葉片的有效受壓面積有關。因此，寬葉片風輪更容易接受和吸收風能，風輪獲得的能量更多，風輪更容易轉動，轉速更高。但是，葉片轉動時，葉片的斜角會擠壓葉片旋轉方向上的空氣，而帶來旋轉阻力，在扇葉背面產生阻力，減降低轉速。

我們的推論：葉片轉動時，在扇葉背面產生的阻力，如果藉由葉面上的洞讓空氣流走，就可以減少阻力。

陸、研究過程與結果

研究一：自製測試風力發電效益的裝置

研究一-1：探討影響自製測試風力發電效益裝置的因素

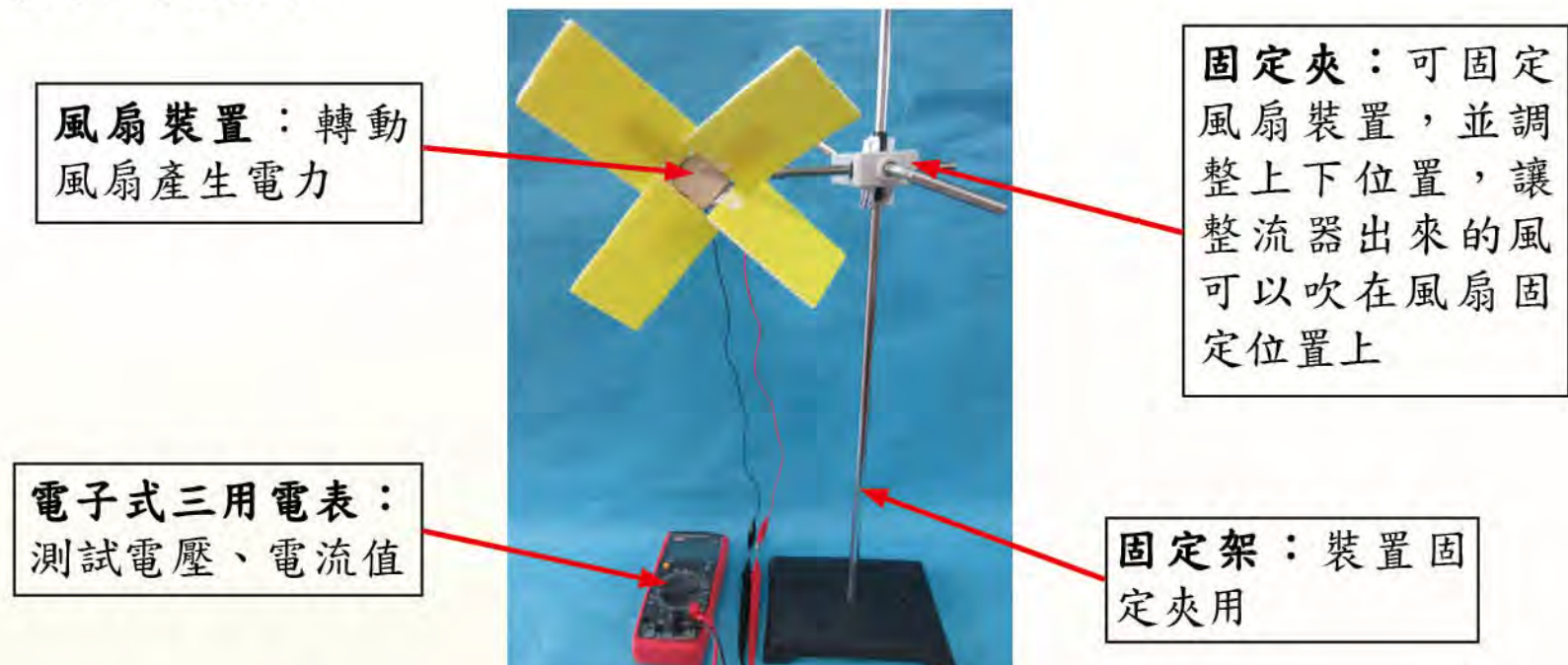
研究一-2：探討自製測試風力發電效益裝置的方式

1. 構思概念：

依據研究一-1的結果，首先製作可以形成穩定風力的裝置，接著製作可以固定風扇裝置以及測試所產生電壓、電流值的裝置。

2. 裝置一：測試電功率的裝置

- (1)裝置材料：準備固定架、固定夾、風扇裝置、電子式三用電表等。
- (2)裝置外觀圖：

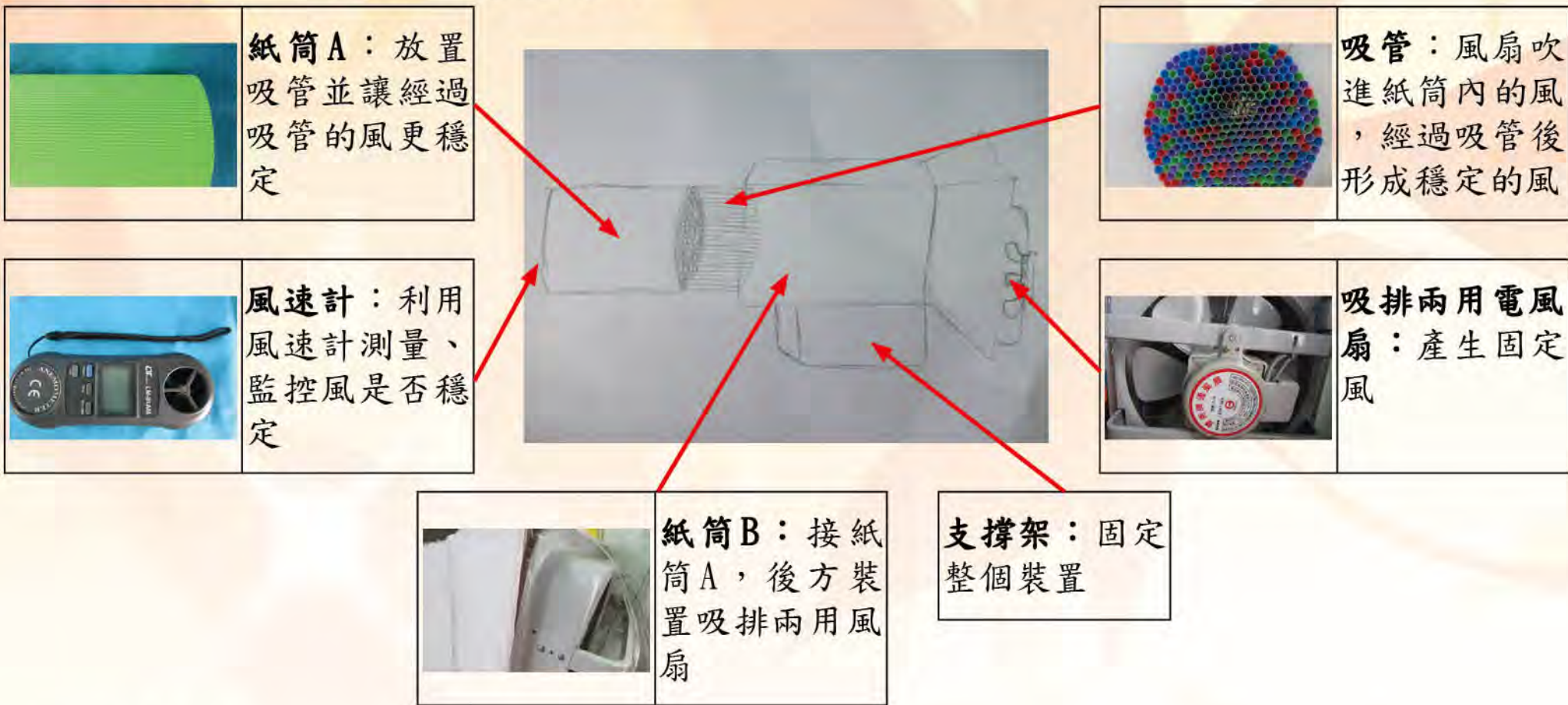


(3)裝置說明與功能：

零件名稱	實物	裝置方式	功能
固定架		固定在桌面上	裝置固定夾用
固定夾		固定夾在固定架上，讓風扇裝置可以固定在上面	可固定風扇裝置，並調整上下位置，讓整流器出來的風可以吹在風扇固定位置上
風扇裝置		將扇葉固定在本塊上在接上小馬達	轉動扇葉產生電力
電子式三用電表		接在風扇裝置上	測試電壓、電流值

3. 裝置二：整流器

- (1)裝置材料：準備吸管、紙板、吸排兩用電風扇、風速計等。
- (2)裝置外觀圖和功能說明：



3. 使用方法：

將風扇裝置固定	調整風扇角度	轉動整流器	風扇裝置轉動產生電力，測試電壓電流值

研究二：研究扇葉對發電效益影響的初步測試

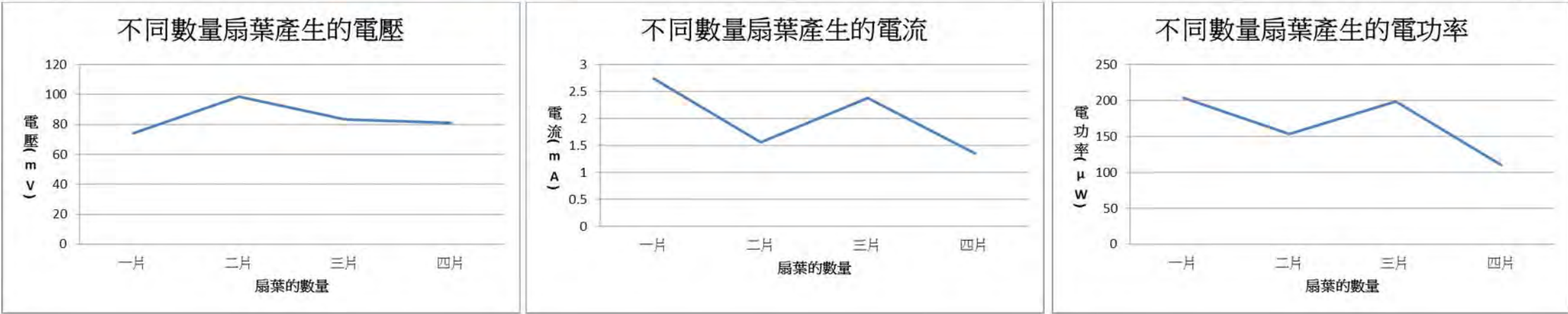
構思概念：首先探討扇葉數量和形狀對發電效益的影響。

研究二-1、探討扇葉數量對發電效益的影響

(一)實驗結果：

表二-1-1 扇葉個數對發電效益的影響

扇葉個數	照片	電壓(mV)	電流(mA)	電功率(μW)	說明
1片		74.11	2.75	203.17	不易平衡、易損壞、轉速最快
2片		98.56	1.56	153.75	不易平衡、易損壞、轉速快
3片		83.11	2.385	198.21	容易平衡、不易損壞、轉速快
4片		80.88	1.36	109.99	最能平衡、最不易損壞、轉速極慢



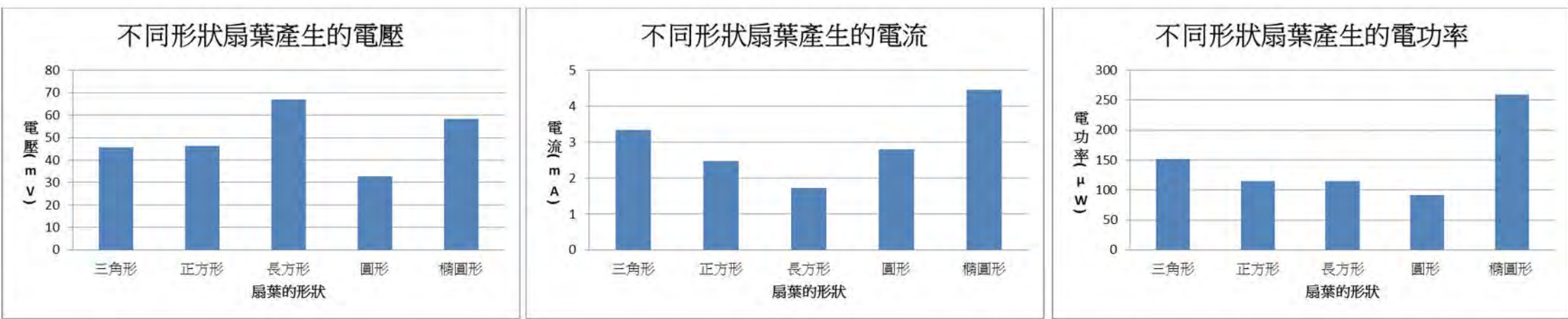
總結：發現發電效益較佳的為扇葉3個。且扇葉3片轉動情形較為穩定。

研究二-2：探討扇葉形狀對發電效益的影響

(一)實驗結果：

表二-2-1 扇葉形狀對發電效益的影響

扇葉形狀	三角形	正方形	長方形	圓形	橢圓形
照片					
電壓(mV)	45.65	46.30	66.88	32.67	58.29
電流(mA)	3.33	2.48	1.71	2.79	4.46
電功率(μW)	152.02	114.58	114.36	91.14	259.68



總結：發電效益較佳的為裝置三片扇葉，且將扇葉形狀裁切成橢圓形。

研究三、研究自製扇葉裝置的方式

研究三-1、探討自製扇葉裝置的方式

構思概念：珍珠板製作的扇葉，在裁切的時不易裁切成一致，轉動時穩定性不高。電腦課正進行3D列印的課程，因此我們想把3D列印技術用來列印扇葉，接著探討3D列印是否適合進行實驗。

A扇葉製作

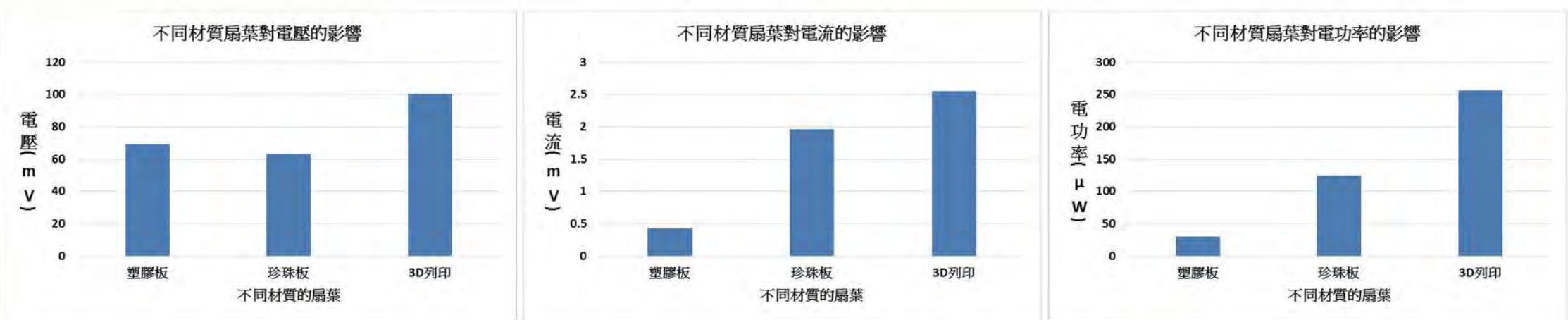
(一)製作步驟

討論設計畫出扇葉草稿圖	軟體設計扇葉	利用TINKERCAD設計橢圓形扇葉(長、寬)	
設計扇葉固定軸	將扇葉和固定軸結合	利用3D列印機進行列印扇葉	3D列印扇葉成品

2. 利用塑膠板、珍珠板、3D列印等材質製作扇葉，測試所產生的電壓、電流值。

表三-1-1 不同材質扇葉所產生的電壓、電流、電功率

扇葉材質	塑膠板	珍珠板	3D列印
照片			
電壓(mV)	69.25	63.21	100.415
電流(mA)	0.43	1.97	2.55
電功率(μW)	29.78	124.21	256.06
說明	每片扇葉大小會有所差距，較易晃動	不易切割扇葉，每片扇葉大小會有所差距	扇由電腦設計列印，扇葉一致，不易晃動



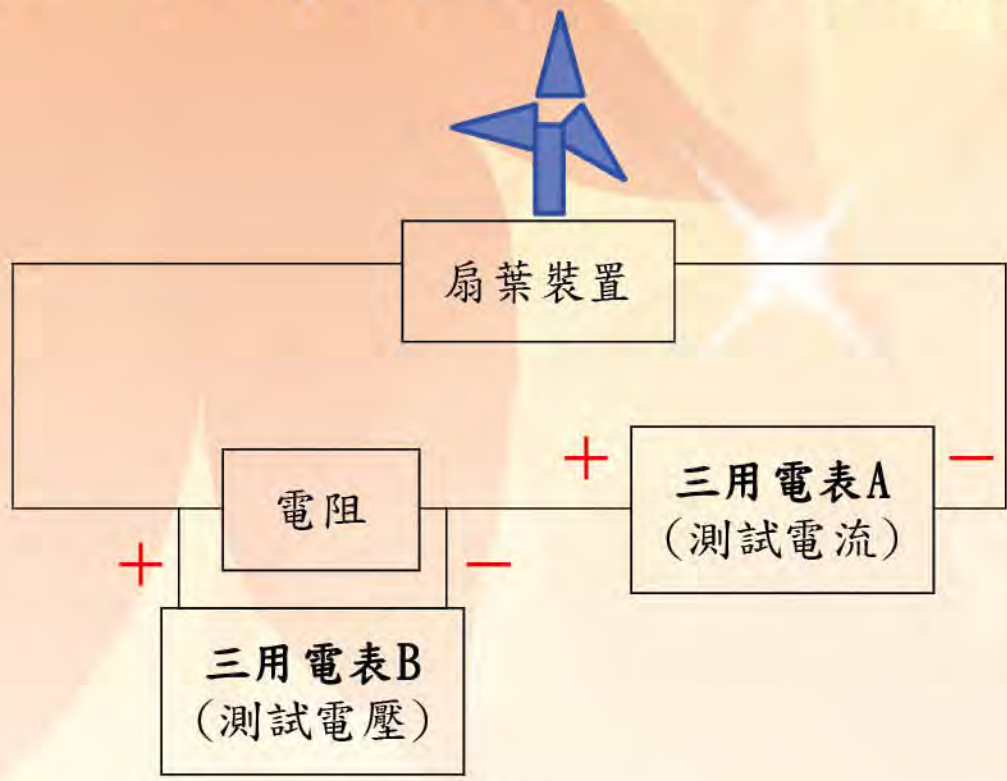
結論：3D扇葉可以讓扇葉大小一致，減少彼此間的差異性，因此研究利用3D設計列印扇葉後，再進行實驗。

研究三-1-2、探討改良測試電壓、電流值的方式

A改良測試電壓、電流值裝置：

電阻	電功率	200Ω	500Ω	1000Ω
3分鐘		1061.40μW	438.04μW	281.43μW
6分鐘		1075.20μW	511.06μW	281.96μW
9分鐘		994.58μW	472.39μW	28168μW
誤差值		80.62μW	73.02μW	0.53μW

選用可以測得誤差值較小，符合歐姆定律的電阻，進行改良測試裝置，方式如下：



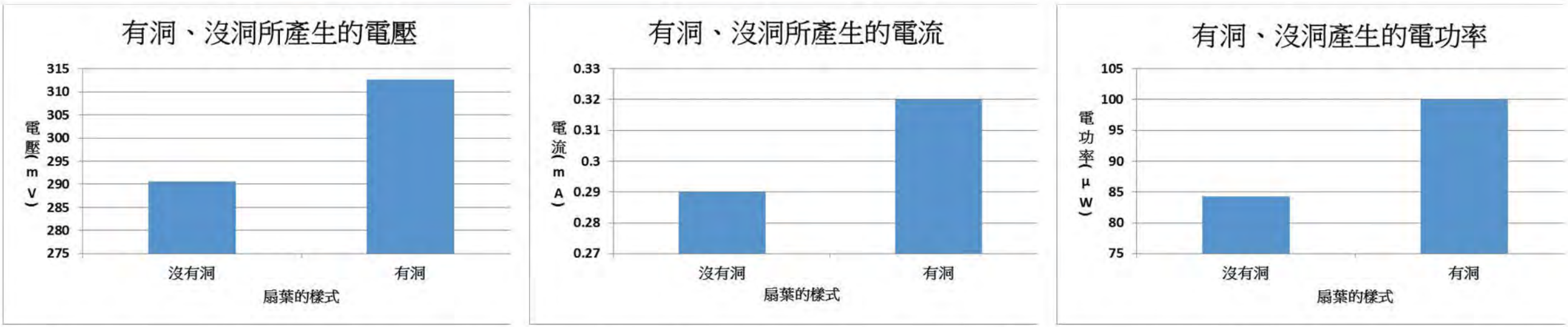
研究三-2、探討扇葉打洞與否對發電效益的影響

構思概念：廣告看板上都有打洞以減少風阻，設想如果在風力發電葉片上打洞應該可以減少風阻，讓扇葉轉速更快。所以接下來在自製扇葉上打洞，研究其發電效益。

(一)實驗結果：

表三-2-1扇葉有洞沒有洞對發電效益的影響

有沒有洞	照片	電壓(mV)	電流(mA)	電功率(μW)
沒有洞		290.66	0.29	84.29
有洞		312.67	0.31	96.93



1. 扇葉迎風面因風的推力而旋轉，此時葉片的背風面則須承受空氣的阻力，在葉片上打洞減少葉片背風面的風阻，讓扇葉轉速更快。

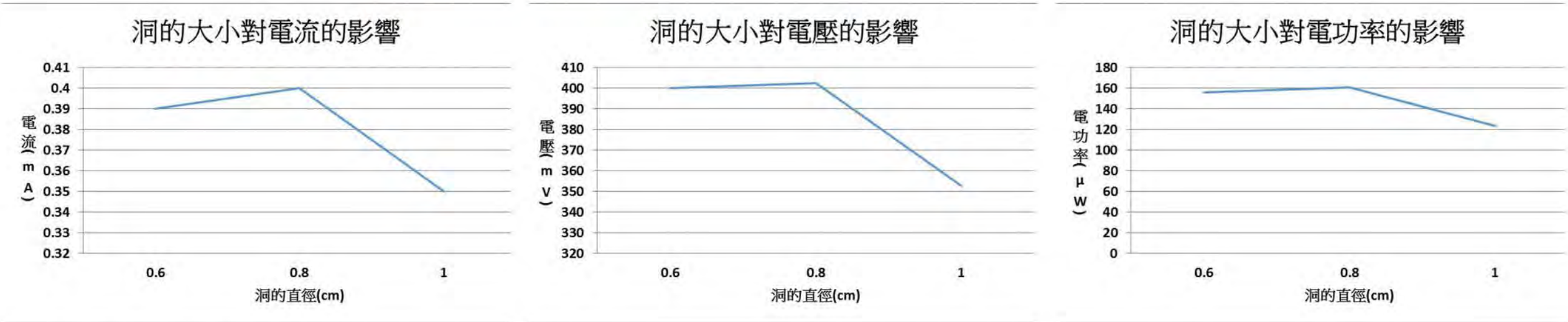
研究三-3、探討扇葉上洞面積大小對發電效益的影響

構思概念：橢圓形扇葉上打洞可以產生較佳的發電效益，那洞該打多大呢？

(一)實驗結果：

表三-3-1扇葉不同打洞面積的電壓、電流、電功率

洞直徑大小	照片	電壓(mV)	電流(mA)	電功率(μW)
約0.6公分		400.00	0.39	156.00
約0.8公分		402.33	0.40	160.80
約1公分		353.00	0.35	123.55



(三)發現與討論：

- 發現打洞的面積太大或太小效果較不佳，以平均分配在扇葉上者較佳。
- 在實驗過程中，發現裝置角度會影響發電效益，例如：0度的時候風扇不會轉動，因此接下來探討扇葉裝置角度對發電效益的影響。

研究四、研究扇葉打洞樣式對發電效益的影響

研究四-1-1、研究不同洞數的扇葉，裝置成不同角度時，所產生的發電效益

(一)實驗步驟：

設計畫出不同洞數的扇葉

TINKERCAD軟體設計不同洞數的扇葉、3D列印扇葉

扇葉成品

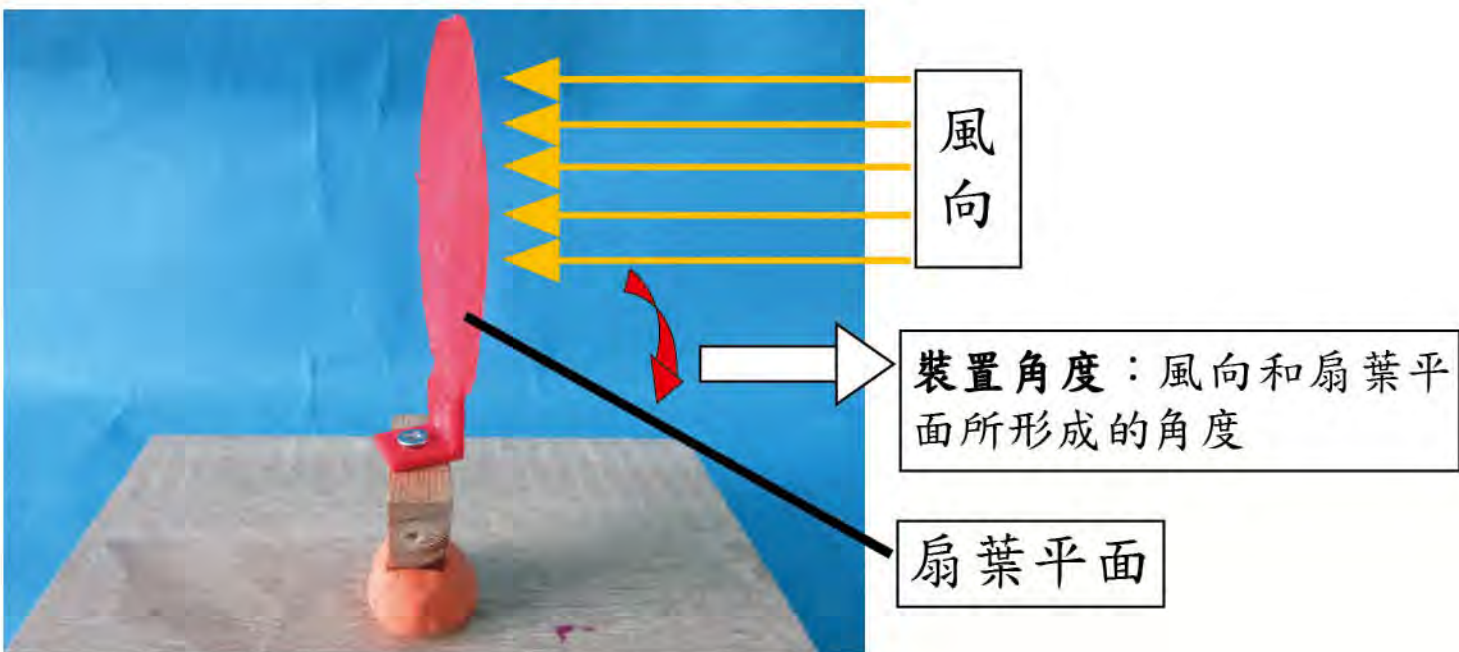
調整風扇角度(10度到180度)

轉動整流器

轉動風扇裝置以產生電力

測試電壓、電流值

1. 扇葉裝置不同角度時的裝置角度示意圖如下，

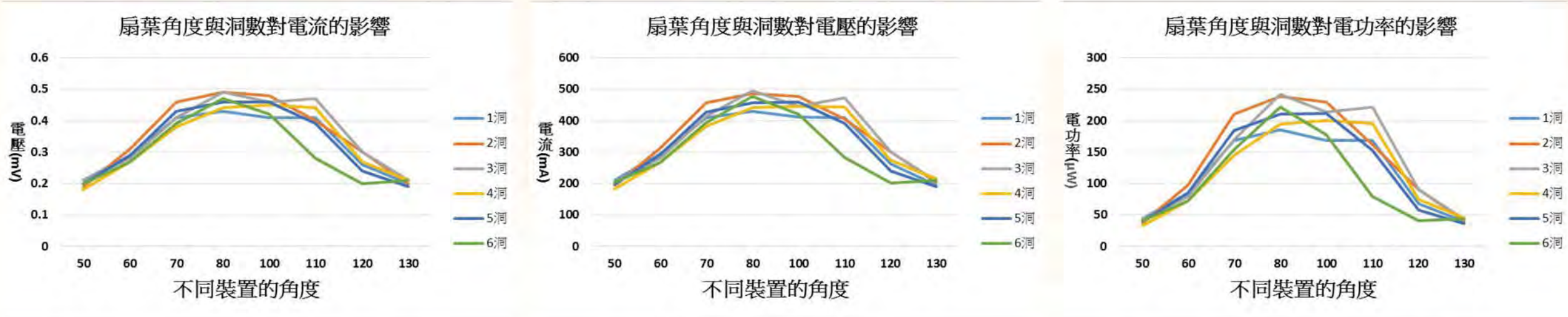


(二)實驗結果：

表四-1-1不同洞數扇葉裝置成不同角度的發電效益

洞數	測試項目	50度	60度	70度	80度	100度	110度	120度	130度
一洞	電壓(mV)	210.00	293.00	410.00	430.00	412.00	409.67	262.00	195.33
	電流(mA)	0.21	0.29	0.41	0.43	0.41	0.41	0.26	0.20
	電功率(μW)	44.10	84.97	168.10	184.90	168.92	167.96	68.12	39.07
二洞	電壓(mV)	194.00	312.67	457.33	486.67	447.00	404.66	300.00	202.33
	電流(mA)	0.19	0.31	0.46	0.49	0.48	0.40	0.30	0.20
	電功率(μW)	38.86	96.92	210.37	238.47	228.96	161.86	90.00	40.47
三洞	電壓(mV)	206.33	280.67	414.00	494.33	463.30	471.67	299.67	207.00
	電流(mA)	0.21	0.28	0.41	0.49	0.46	0.47	0.30	0.21
	電功率(μW)	43.33	78.59	169.74	242.22	213.10	221.68	89.90	43.47

四洞	電壓(mV)	182.33	266.00	382.00	440.66	445.00	443.33	274.33	214.33
	電流(mA)	0.18	0.27	0.38	0.44	0.45	0.44	0.27	0.21
	電功率(μW)	32.81	71.82	145.16	193.89	200.25	195.07	74.07	45.01
五洞	電壓(mV)	197.33	291.00	427.67	456.33	460.00	391.00	239.33	190.33
	電流(mA)	0.20	0.29	0.43	0.46	0.46	0.39	0.24	0.19
	電功率(μW)	39.47	84.39	183.90	209.91	211.60	152.49	57.44	36.16
六洞	電壓(mV)	203.00	266.67	394.33	471.00	421.33	281.67	202.00	211.33
	電流(mA)	0.20	0.27	0.39	0.47	0.42	0.28	0.20	0.21
	電功率(μW)	40.6	72.00	153.79	221.37	176.96	78.87	40.40	44.38



(三)發現與討論：

1. 以洞數來說，各角度發電效益的排名如下：

角度洞數	50度	60度	70度	80度	90度	100度	110度	120度	130度
一洞	7	5	3	1	0	2	4	6	8
二洞	8	5	3	1	0	2	4	6	7
三洞	8	6	4	1	0	3	2	5	7
四洞	8	6	4	3	0	1	2	5	7
五洞	7	5	3	2	0	1	4	6	8
六洞	7	5	3	1	0	2	4	8	6

1-1發電效益較佳的是將風扇裝置成80度和100度。發電效益較不佳的是將風扇裝置成50度和130度。最佳前三名為3洞裝置成80度、2洞裝置成80度、2洞裝置成100度。

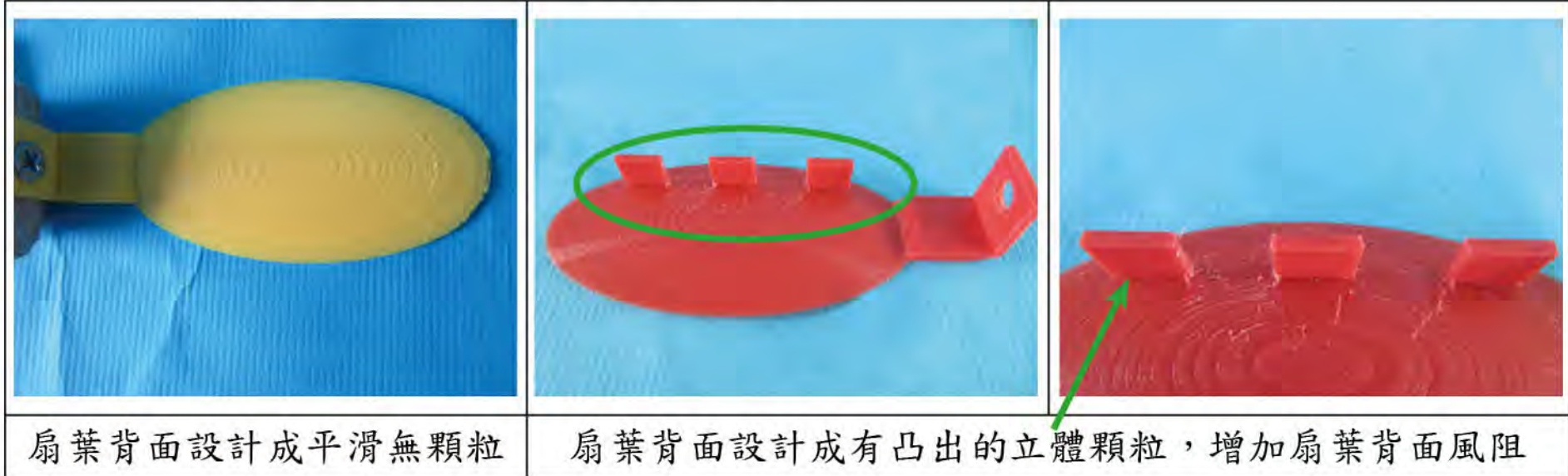
1-2發現扇葉裝置成不同角度時，轉動的方向會有所不同，整理如下表：

扇葉裝置角度	扇葉轉動的方向	示意圖	說明
0度到90度	順時針方向轉動		綠色箭頭為風力大小，黑色箭頭為風力的分力結果。
90度到180度	逆時針方向轉動		

研究四-1-2、探討扇葉背面所形成風阻對發電效益的影響

構思概念：扇葉上打洞確實可以提升發電效益，為了進一步驗證扇葉打洞之後會減少扇葉後面的風阻，提高發電效益，進行下面實驗。

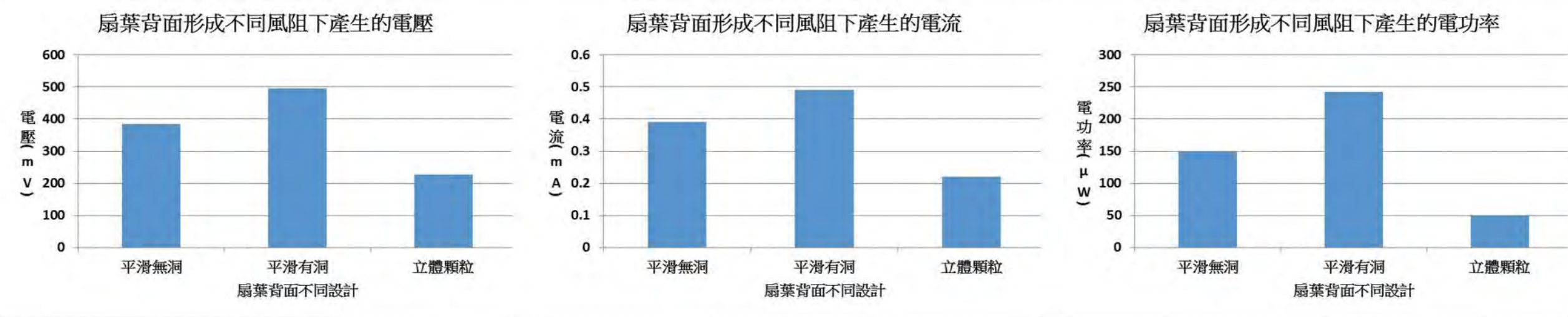
(一)實驗步驟：



(二)實驗結果：

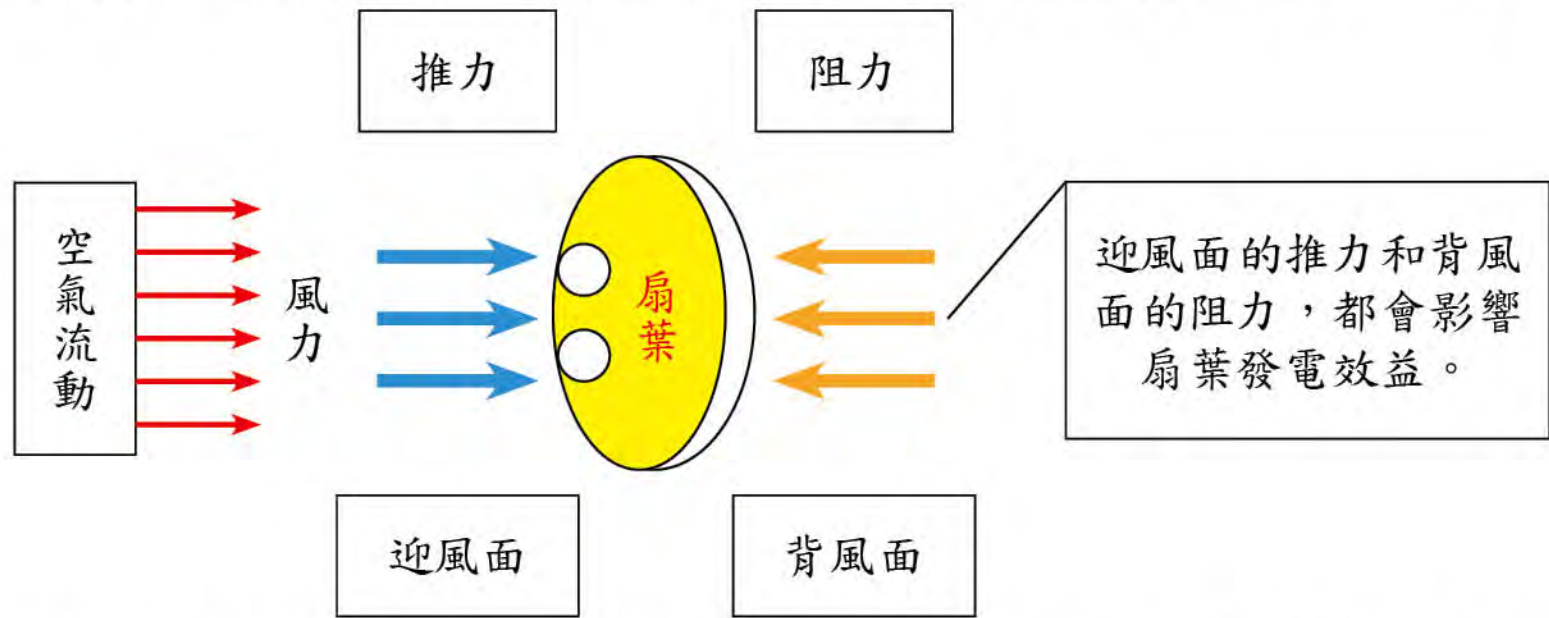
表四-1-2扇葉背面所形成風阻對發電效益的影響

扇葉背面設計	照片	電壓(mV)	電流(mA)	電功率(μW)
平滑沒有洞		385.33	0.39	150.28
平滑有洞		494.33	0.49	242.22
立體顆粒		228.00	0.22	50.16



(三)發現與討論：

1. 空氣流動到扇葉時，氣流在扇葉上所產生的風力，會形成一股推力，這推力會讓扇葉轉動起來。相對在背風面則會須承受空氣所形成的阻力，阻礙扇葉轉動。

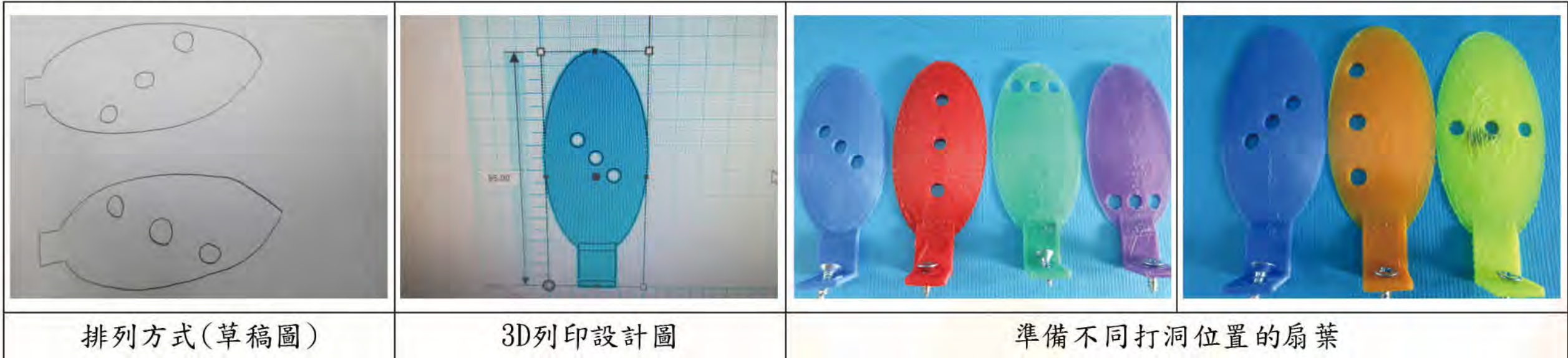


2. 發現扇葉上打洞會提升發電效益，推論主要是因扇葉迎風面因風的推力而旋轉，此時葉片的背風面則須承受空氣的阻力，在葉片上打洞減少葉片背風面的風阻，讓扇葉轉速更快。

研究四-2、探討扇葉上洞的排列方式對發電效益的影響

構思概念：之前研究將扇葉上的洞打在扇葉邊緣，如果更改打洞的位置對電壓和電流值的影響為何呢？進行下面研究。

(一)實驗步驟：

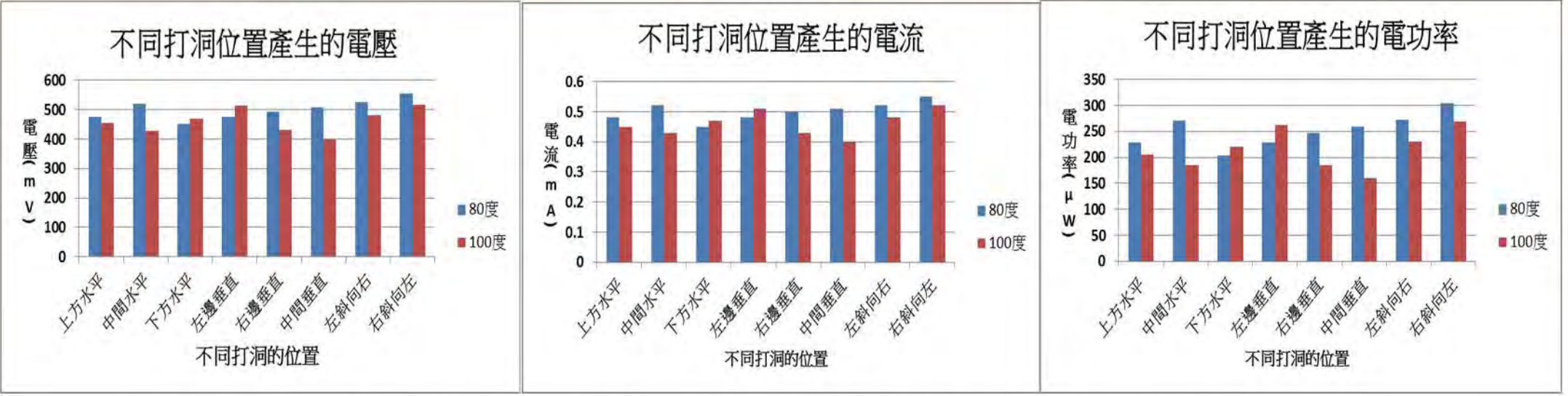


(二)實驗結果：

表四-2-1扇葉不同打洞位置所產生的電壓、電流、電功率

打洞位置	照片	角度	電壓(mV)	電流(mA)	電功率(μW)
上方水平		80度	475.00	0.48	228.00
		100度	454.00	0.45	204.30
中間水平		80度	519.33	0.52	270.05
		100度	428.33	0.43	184.18

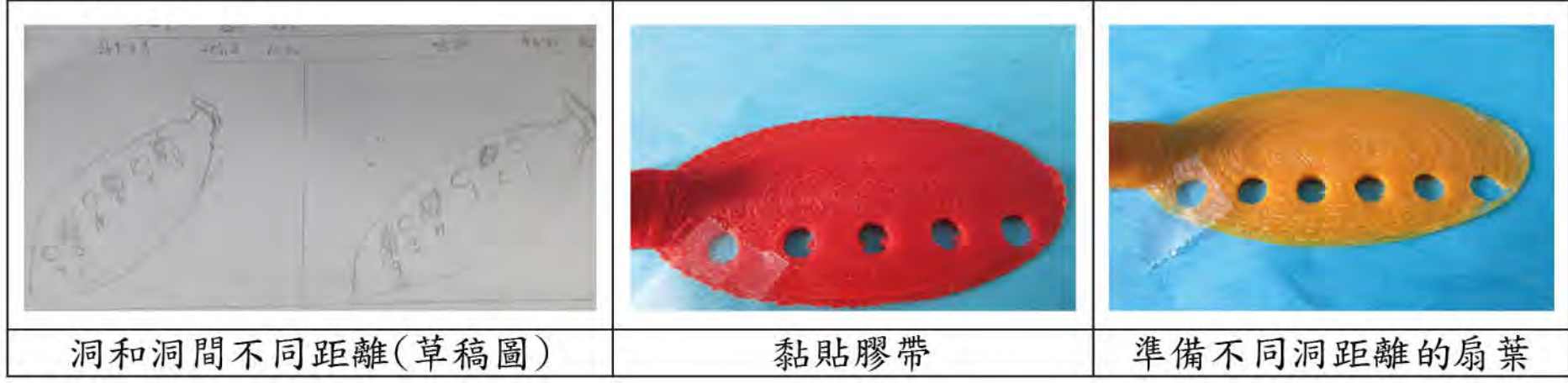
下方水平			80度	451.33	0.45	203.00
			100度	469.00	0.47	220.43
左邊垂直			80度	475.33	0.48	228.15
			100度	513.33	0.51	261.63
右邊垂直			80度	494.00	0.50	247.00
			100度	430.00	0.43	184.90
中間垂直			80度	506.33	0.51	258.23
			100度	397.67	0.40	159.07
左斜向右			80度	524.67	0.52	272.83
			100度	480.00	0.48	230.40
右斜向左			80度	554.00	0.55	304.70
			100度	516.00	0.52	268.32



總結：發現裝置角度不同，洞要打在不同位置以提升發電效益。

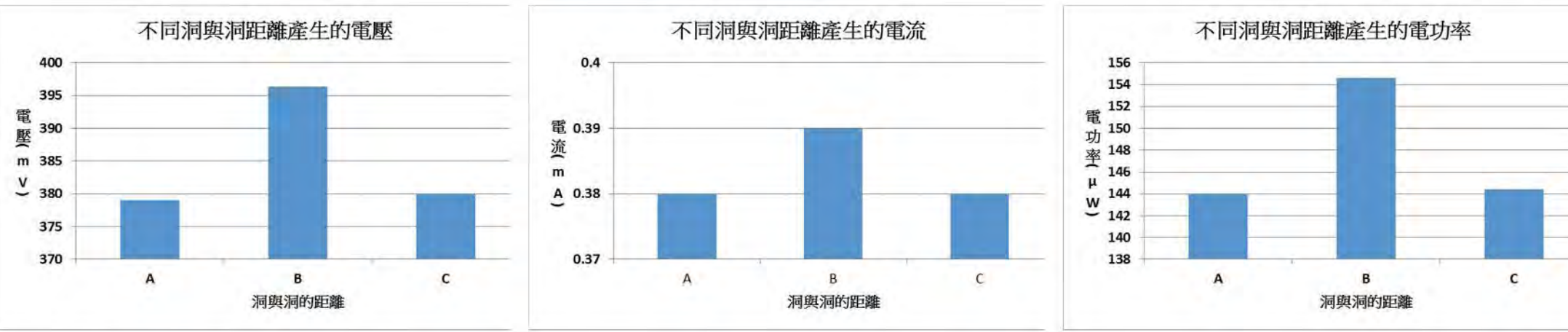
研究四-3、探討扇葉上洞與洞間距離對發電效益的影響

(一)實驗步驟：



(二)實驗結果：

洞距	照片	電壓(mV)	電流(mA)	電功率(μW)
A		379.00	0.38	144.02
B		396.33	0.39	154.57
C		380.00	0.38	144.40

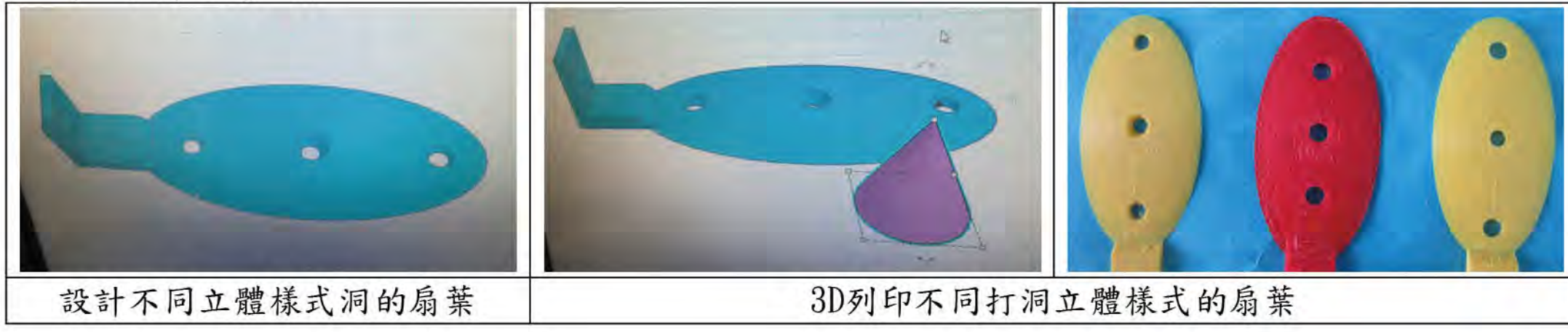


(三)發現與討論：

- 發現B的發電效益較佳，洞和洞間的距離等距且不要密集平均的分配在扇葉，所產生的發電效益會較佳。

研究四-4、探討洞立體樣式對發電效益的影響

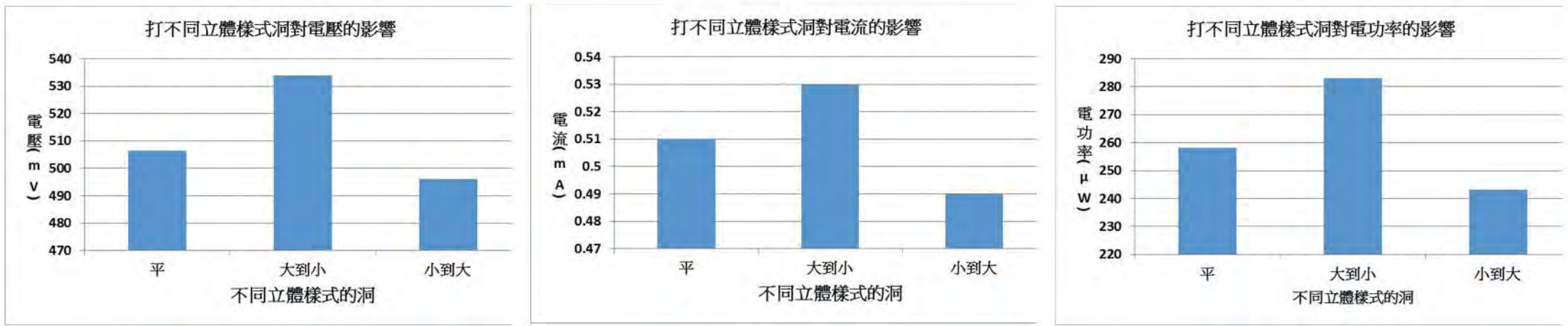
(一)實驗步驟：



(二)實驗結果：

表四-4-1不同立體樣式打洞方式對電壓、電流、電功率的影響

洞立體樣式	照片	電壓(mV)	電流(mA)	電功率(μW)
平		506.33	0.51	258.23
由大到小		534.00	0.53	283.02
由小到大		496.00	0.49	243.04



(三)發現與討論：

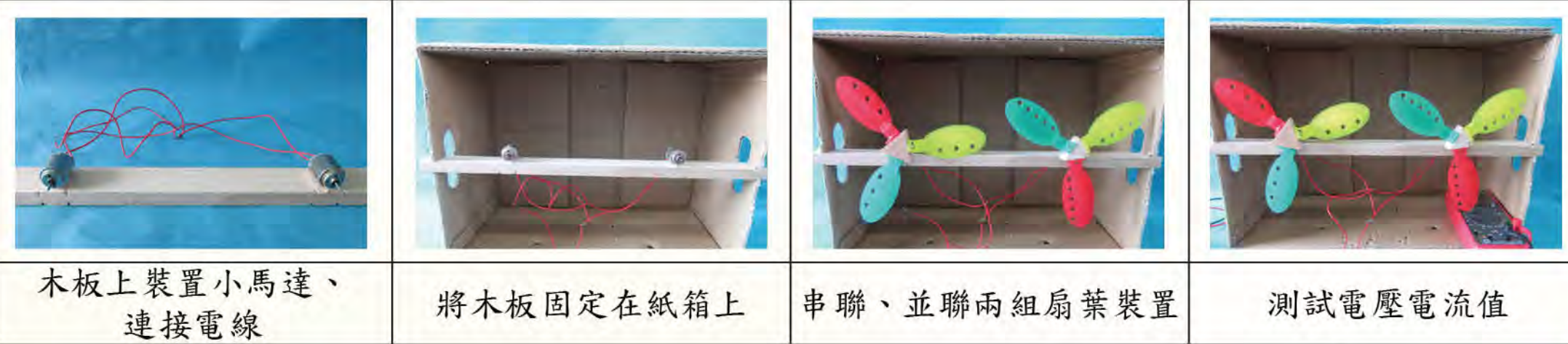
- 發現在扇葉上打洞除了平的方式之外，打洞立體樣式也可以利用由大到小的方式，以增加發電效益。

研究五：串聯和並聯扇葉裝置對發電效益的影響

研究五-1：自製可以串聯和聯扇葉裝置的器具

(一)實驗步驟：

- A裝置材料：紙箱、木棍、小馬達、電線、風扇裝置。
- B裝置步驟：



研究五-2：串聯和並聯扇葉裝置對發電效益的影響

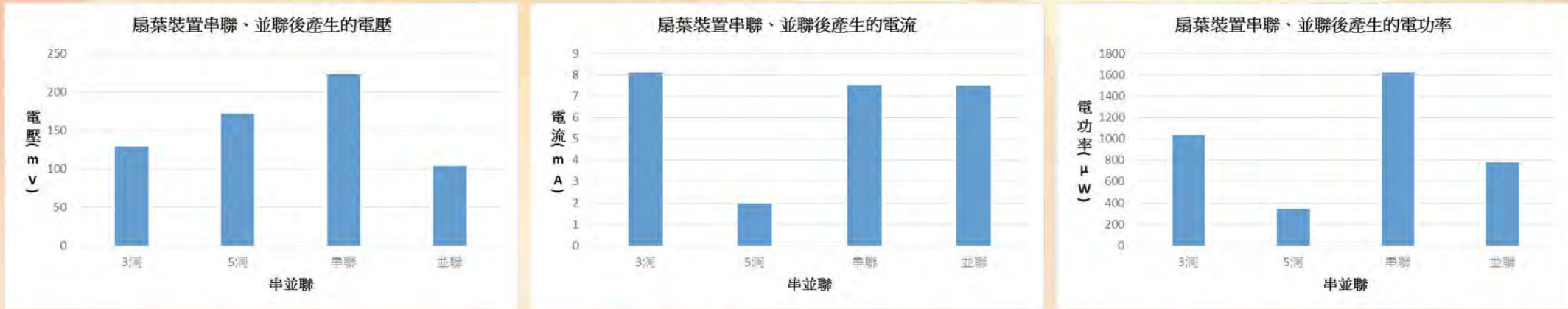
(一)實驗步驟：

- 準備兩組扇葉裝置，3洞裝置成70度和5洞裝置成110度。
- 將扇葉裝置在步驟2的裝置中，測試兩組扇葉串聯和並聯時所產生的電壓、電流值。

(二)實驗結果：

表五-2-1 扇葉裝置串聯、並聯產生的發電效益

裝置方式	1個扇葉裝置 3洞80度	1個扇葉裝置 5洞100度	串聯2個扇葉裝置	並聯2個扇葉裝置
照片				
電壓(mV)	128.41	171.34	223.2	104.14
電流(mA)	8.10	1.99	7.54	7.45
電功率(μW)	1039.44	340.10	1618.82	780.53



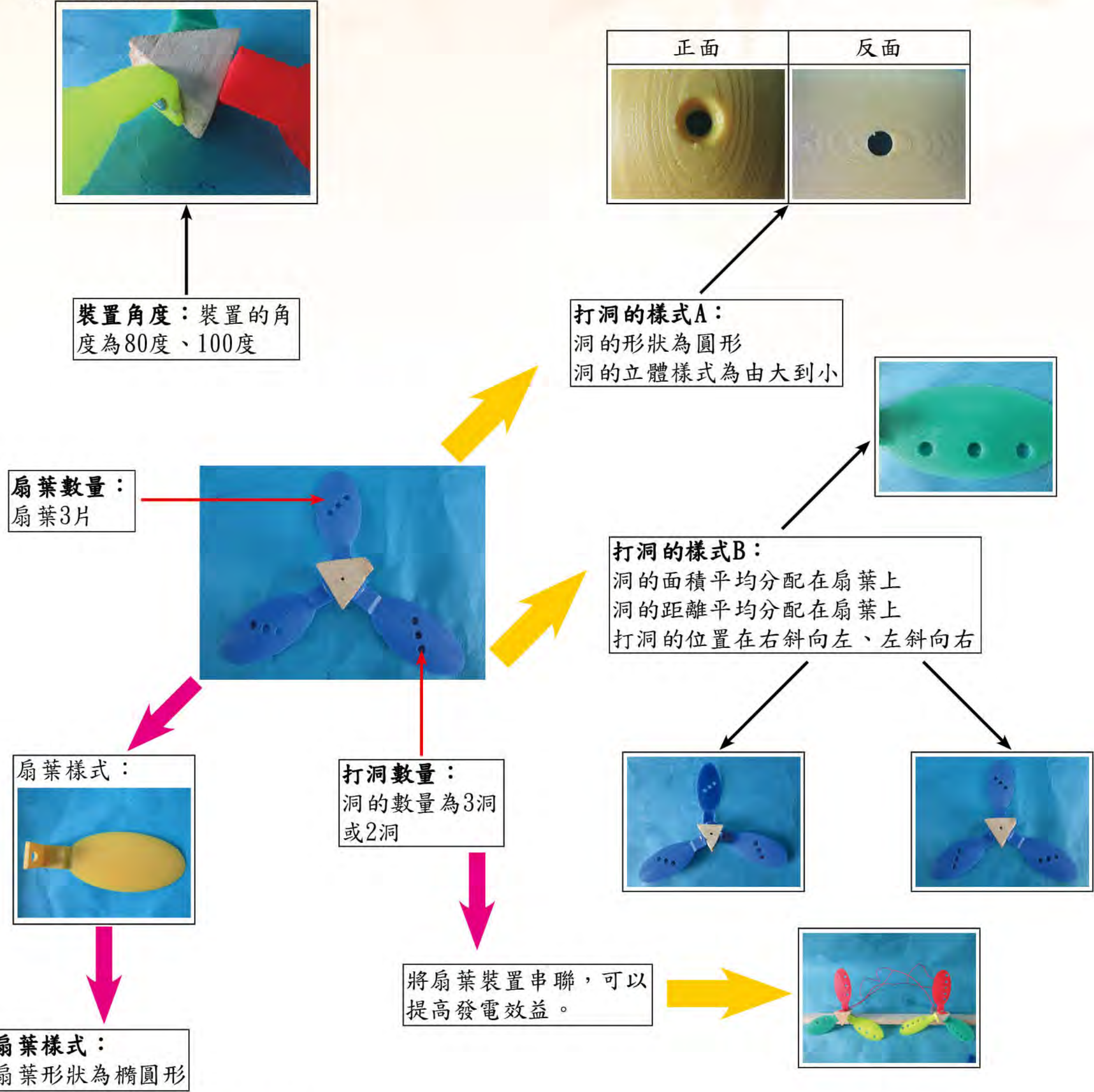
(三)發現與討論：

- 將扇葉發電裝置串聯之後所產生發電效益較佳。

研究六：如何實際應用在風力發電上

經過一連串的研究探討後，發現如果需要提升風力發電的效益，建議扇葉的設計可以如下，

最佳扇葉說明如下：



柒、研究結論

- 如何自製測試風力發電效益裝置呢？
首先製作可以形成穩定風力的裝置，接著製作可以固定風扇裝置以及測試所產生電壓、電流值的裝置。
- 扇葉上有打洞、沒有打洞對發電效益的影響為何呢？
發現扇葉上打洞會提升發電效益，推論主要是因為扇葉迎風面因風的推力而旋轉，此時葉片的背風面則須承受空氣的阻力，在葉片上打洞減少葉片背風面的風阻，讓扇葉轉速更快。
- 扇葉數量、扇葉形狀對發電效益的影響為何呢？
1. 以扇葉數量來說，發電效益較佳的為扇葉3個。且扇葉3片轉動情形較為穩定。
2. 以扇葉樣式來說，發電效益較佳的為橢圓形扇葉，在扇葉上打洞的效果會更佳。
- 自製扇葉裝置的方式為何呢？
3D扇葉可以讓扇葉大小一致，減少彼此間的差異性，且將3D列印扇葉裝置在三角形木塊上，因為三角形木塊可以在上面畫線且適合裝置三片葉片。
- 不同洞數的扇葉，裝置成不同角度時，所產生的發電效益為何呢？
1. 發電效益較佳的是將風扇裝置成80度和100度。最佳是將3洞扇葉裝置成80度。
2. 發電效益較不佳的是將風扇裝置成50度和130度。
3. 裝置角度為0度到90度時，扇葉會逆時針方向轉動，裝置角度為90度到180度時，扇葉會順時針方向轉動。
- 扇葉打洞樣式對發電效益的影響為何呢？
六-1、扇葉上洞的排列方式對發電效益的影響為何呢？
1. 打洞的時候將洞打在扇葉同一側，可以產生較高的發電效益。
2. 當裝置角度為80 度時，扇葉會順時針轉動，此時洞打在右邊垂直方向，發電效益較高。
當裝置角度為100 度時，扇葉會逆時針轉動，此時洞打在左邊垂直方式，發電效益較高。
3. 當洞打成右斜向左或左斜向右，推論斜向的洞，讓氣流在流動時，使扇葉前方可以形成有利於扇葉轉動的力，並減少了扇葉後方的風阻，因此提高發電效益。
六-2、扇葉上洞與洞間距離對發電效益的影響為何呢？
扇葉上洞和洞的距離等距離，且平均的分配在扇葉，所產生發電效益會較佳。
六-3、扇葉上打洞面積大小對發電效益的影響為何呢？
以扇葉上打洞面積大小來說，打洞的面積太大或太小效果較不佳，以平均分配在扇葉上者較佳。
六-4、扇葉上洞立體樣式對發電效益的影響為何呢？
在扇葉上打洞的時候，只要打平行洞就可以增加扇葉發電的效益，如果將打洞的立體樣式更改為由大到小，則可以產生更高的發電效益。
- 串聯和並聯扇葉裝置對發電效益的影響為何呢？
以扇葉串並聯來說，串聯之後所產生發電效益較佳。
- 扇葉裝置的實際應用：
建議扇葉數量為三片，扇葉形狀為橢圓形，扇葉打洞可以提升發電效益，建議打3或2個洞、形狀為圓形，立體樣式為有小有大，洞平均分配在扇葉上，洞排列方式可以利用右斜向左或左斜向右，裝置角度為80度或100度，串聯可以提高發電效益。

捌、參考文獻

- 顏世枋等(2018)。巧妙的施力工具。自然與生活科技六下。台南市：南一。
- 顏世枋等(2018)。真愛家園。自然與生活科技六下。台南市：南一。
- 力與運動。自然與生活科技六下。台南市：康軒。
- 風力發電廠。維基百科。取自<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%A2%A8%E5%8A%9B%E7%99%BC%E9%9B%BB%E5%BB%A0>。
- 白努利定律。維基百科。取自<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E4%BC%AF%E5%8A%AA%E5%88%A9%E5%AE%9A%E5%BE%8B>
- 影片【生活裡的科學】20180119-風力發電潛力無限。取自<https://www.youtube.com/watch?v=Hj0mbRaZ0gU>
- 中華民國第52屆中小學科學展覽會作品，轉出活力與光彩-可動式葉片組垂直軸風力發電機之探究與應用。