

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學(一)科

082814

風馳電掣-垂直軸風力發電研究

學校名稱：澎湖縣馬公市中正國民小學

作者：	指導老師：
小六 周宜霏	洪常明
小六 陳姿婷	項志偉
小六 歐佳穎	
小六 黃薇蓁	
小六 洪宥騏	
小六 陳宥廷	

關鍵詞：垂直軸風力發電機、3D 列印模具、

5V 輸出應用

摘要

本研究旨在找出轉速最快的垂直軸扇葉，運用學校常見廢棄品，設計一套能發電的裝置以探索扇葉、風和電力的關係，獲致結論如下：

1. 扇葉數量為 5 葉時，自製垂直軸發電機輸出電壓的平均值最高。
2. 扇葉支架長度為 20cm 時，自製垂直軸發電機輸出電壓的平均值最高。
3. 扇葉大小為 20cm x 20cm 時，自製垂直軸發電機輸出電壓的平均值最高。
4. 扇葉轉置角度為 165 度時，自製垂直軸發電機輸出電壓的平均值最高。
5. 所有變項皆會交互影響，調節受風頻率、受風角度的最佳組合可以取得自製垂直軸發電機輸出電壓的最高值。

本研究相關 3D 模具將在比賽後公開在 <https://tinyurl.com/y2emzt3h>，讓接續本研究內容繼續前進的科學愛好者，能直接打造一組強力的風力發電機。

壹、研究動機

日常生活中人人需要用電，目前臺灣發電以燃煤發電為主，占了總能源輸出的 68%，而燃煤發電容易為地球造成汙染，日益惡化的極端氣候及全球暖化都在提醒我們盡快減少燃燒石化燃料獲取能源，相對的風能正巧是豐富、可再生、分布廣泛、潔淨且無污染的自然能源，但是臺灣的風力發電卻僅占能源輸出的 1%！

身處於東北季風強大的澎湖的我們，對於風力都有特別的想像，想要設計一種能夠與當地特色與校園環境結合，既美觀又環保的發電方式，守護地球，為地球增添繽紛的色彩。

表一：經濟部能源局-台電電廠現況

類別	發電設備	機組數	供電容量(kW)	佔比
核能	核能機組	6	5,144,000.00	16%
火力	汽力機組	22	11,400,000.00	36%
	複循環機組	21	9,584,950.00	30%
	氣渦輪機組	4	280,000.00	1%
	柴油機組	92	295,454.00	1%
水力	水力機組	88	4,652,207.00	15%
				0%
風力	風力機組	169	293,960.00	1%
太陽光電	太陽光電機組	14	17,665.65	0%
合計		<u>416</u>	<u>31,668,236.65</u>	

資料參考自 更新日期：108-03-08

貳、 研究目的

學校常有廢棄的物品，將這些廢棄物直接丟棄似乎有些可惜。夏天人們都會使用電風扇來降低室內氣溫，但若是電風扇壞掉了，我們是否可以利用裡面的馬達，製作成不一樣的機器？配合澎湖冬天強勁的東北季風，我們決定運用校園內不要的廢棄物，製作成一組外觀獨具特色且效能良好的風力發電系統，賦予老舊物品嶄新的生命。

因此我們的研究的目的是找出轉速最快的垂直軸扇葉，運用學校常有廢棄的物品，設計一套能夠發電的裝置，來探索扇葉、風和電力的關係。依照我們對扇葉不同特性的討論結果，我們發現扇葉可能會對風力產生影響的因素包含了發電機的磁鐵擺設，扇葉的數量、寬度、角度、支架長度等。

因此我們研究的問題如下：

1. 扇葉數量多少對垂直軸發電機的影響。
2. 扇葉寬度大小對垂直軸發電機的影響。
3. 扇葉支架長短對垂直軸發電機的影響。
4. 扇葉角度大小對垂直軸發電機的影響。
5. 垂直軸發電機如何應用在生活中。

參、 研究設備及器材

一、工具：

鋸子、鋸台、3D 列印機、尺、鐵鎚、電動螺絲起子、老虎鉗、扳手、美工刀、筆、橡皮擦、三用電表、電風扇、砂紙、電鑽、銲槍、錄影機、剪刀。



二、材料：

木板、木條、PVC 水管、釹磁鐵、螺絲、防水布膠帶、廢電風扇軸心、電線、3D 列印耗材 PLA。



肆、 研究過程或方法

一、網路資料探索

(一) 歷屆研究

科展資料	我們的發現
隨風不轉舵』-垂直軸風力發電機之研究與應用	<ul style="list-style-type: none"> ● 垂直軸風力發電機的葉片其兩端均固定於傳動轉軸上，因此不會發生水平軸風力發電機葉片撞擊到支撐桿的現象。 ● 垂直軸風力發電機設置時，並不需要考量風向並加裝風舵，因為任何方位來的風，均可推動垂直軸風力發電機上的葉片。
「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	<ul style="list-style-type: none"> ● 葉片形狀所產生的發電量，正方形>長、寬比小的長方形>三角形>長、寬比大的長方形，葉片形狀為長方形，長、寬比越接近正方形，所產生的發電量越高。 ● 葉片的長度愈長，產生的發電量愈高；不論是正方形或是長方形，葉片面積愈大，發電量就愈高。
舞風高手—垂直軸風力發電機之研究與應用	<ul style="list-style-type: none"> ● 葉片數量越多，受風面積越大，可以得到越大的發電效能；但當葉片數量過多，氣流經過葉片時容易亂竄，導致發電效能不如預期的好。 ● 葉片材質以珍珠板為佳，飛機木、塑膠瓦楞板次之，而厚紙板最差。而重量也會造成影響，重量輕旋轉速度快，發電效能大；重量重旋轉速度慢，發電效能小。

(二) 網路資料探索

網路資料	我們的發現
Youtube 影片「簡單型-DIY 垂直式風力發電機」	<ul style="list-style-type: none"> ● 影片中的先生把天花板上的吊扇拆下來當做發電機。 ● 他的扇葉不是我們澎湖的風車樣式，是倒在地上的垂直型風扇，根據影片中的提示，垂直型風力發電的好處是可以接收不同方向的風力，比起我們常見的風車發電效益更好。 ● 需要自行再黏上強力磁鐵來增加發電效益，裝上強力磁鐵後，光靠手轉動發電機就可以有 20~30 伏特的電壓。 ● 很有參考價值，是我們這次採用的發電方式
Mini Wind Turbine -Youtube	<ul style="list-style-type: none"> ● 影片中他測量的是電流，不是我們所測的電壓。 ● 影片的最後還裝上電池讓風扇轉動，剛好讓我們看到風力和電力可以互相轉換的關係。
從從 唐從聖 DIY 風力發電機-Youtube	<ul style="list-style-type: none"> ● 利用寶特瓶方便取得的特性製作風車，發電機同樣是用長軸圓形發電機，但是加裝五個 LED 燈，只要風車轉動發電機就可以讓 LED 燈亮起來。 ● 他們自製的風力發電機雖然可方便取得扇葉，但我們無法在生活中輕易取得下方的 LED 板。

二、風力發電機組裝和設計

我們參考了其他科展實驗和網路資源，確定了一些方向，所以我們把其他人實驗的經驗和想法加入我們實驗的設計，改良出更好的垂直軸發電機。Youtube 影片「簡單型-DIY 垂直式風力發電機」，發現影片中的大叔使用吊扇的核心當做發電機，所以我們在學校的倉庫向總務處索取了幾個壞吊扇，拆開之後我們試著用力旋轉外殼轉動磁鐵來發電。

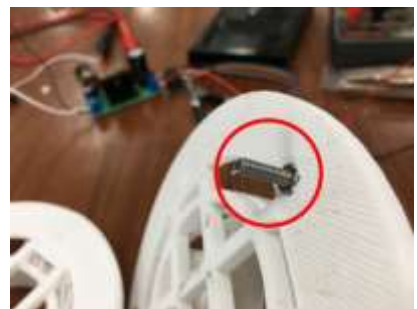
使用手轉動風扇外殼的方法不太科學，因為每次轉動的力道不太相同，為了有穩定的力量轉動風扇，我們需要除了手轉的方法；而我們觀察到原本風扇外殼是五角形的形狀，所以我們考慮用 3D 列印的方法來設計一個中間的小道具，讓我們可以用相同的力量轉動電扇外殼，同時讓後面的實驗也可以使用。於是我們用 3D 列印設計了第一個版本的發電機基座，不過在幾次的使用之後發現 3D 列印雖然可以準確的做出五角形並安裝到風扇外殼，但是 3D 列印的道具強度不足，五支插在風扇外殼的腳會因為稍微施力就斷掉，後來我們想也許不一定全部的材料都用 3D 列印，所以我們把五支固定在風扇外殼的腳換成螺絲，運作上就順利多了。



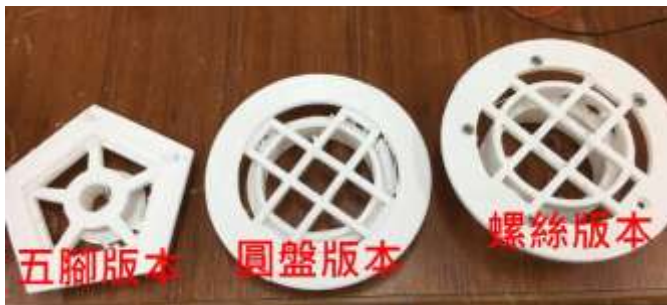
風扇外殼上的五腳



在外殼上畫出 16 等分



改用螺絲帶動旋轉



不同版本發電機基座的演變



螺絲版本非常穩固

安裝好設計的發電機基座後，旋轉外殼轉動磁鐵來發電，卻只看到三用電錶的指針在 0 附近小幅擺動。我們想了想有可能是外圈磁鐵的磁力不夠，因此參考 Youtube 影片

「簡單型-DIY 垂直式風力發電機」使用磁力比較強勁的釹磁鐵增加外環的磁力，磁鐵擺放方法影片中大叔的擺放方法是 N-S-N-S 交錯放置，總共放置 16 個磁鐵，使用電動起子機旋轉後產出的電壓最高出現 82.2 伏特，最低電壓也有 74.9 伏特。



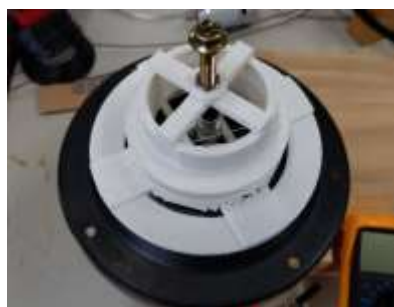
拆解廢棄電風扇取下線圈



在外殼上畫出 16 等分



安裝 16 個磁鐵在線圈周圍



使用六角螺絲和電動起子轉動



使用三項電表量測電壓



轉動磁鐵記錄電壓

我們嘗試了放置 18 個以上的磁鐵，讓磁力的運作更密集，但是擺放 18 個磁鐵就會讓空間太過擁擠，磁鐵容易因為一點點碰撞而黏住，只好打消增加磁鐵的念頭，至於減少磁鐵會讓發電效果變好嗎？結果是擺放 12 個磁鐵會讓產出的電壓大幅度下降，所以最後確定磁鐵的數量擺放設定在 16 個。

同時，我們的研究成員，也發現會不會磁鐵的擺放方法也會影響輸出電壓，為了確認 N-S-N-S 交錯放置是否最棒的擺放規則，我們嘗試 N-S-N-S 交錯放置和網路上建議的 N-N-S-S 放置方法，看看兩個變項哪一個擺放方法比較好，結果 N-S-N-S 交錯放置輸出電壓的數值高出非常多，所以我們決定採用 N-S-N-S 交錯放置的方式。

三、扇葉材質的選用

我們在挑選扇葉素材的時候，有很多的討論結果，像是用塑膠水管、帆布、硬紙板、壓克力板、木板等，但是這些討論結果後面都面臨一個問題-我們必須把扇葉固定並且立起來，讓扇葉可以接受風力。排除掉可以固定的材質後，我們最後只考慮木片和寶特瓶，

除了生活中較容易取得，同時它們的形狀也比較好固定並站立。



寶特瓶和木板比對



寶特瓶與水管接頭



木片與水管接頭

首先我們將寶特瓶材切成一半之後，使用 3D 列印機列印可以連接寶特瓶和水管的接頭，同樣的木板也是。把兩種材質放上風力發電機組後，寶特瓶的材質輸出的電壓相當不穩定，電壓最低可以是 4.7 伏特，最高可以是 12.4 伏特，我們猜測數據跳動劇烈的可能原因是寶特瓶的材質較軟，接受風力會使寶特瓶稍微彎曲變形，接收風力的力道就不再完整，所以一旦變形就使電壓數據下降。



相反的木片材質輸出的電壓相對穩定得多(3 扇葉，葉片 20 x 30 cm，桿長 30cm)，最低在 11.3 伏特最高在 15.9 伏特，考量穩定度和輸出電壓較強的因素，我們決定使用木片作為扇葉材料，木板當作材料的額外優點是它容易塑形、使用鋸台可以輕易切割成我們想要的形狀大小，因此我們決定以木片作為扇葉材料。然後搭配水管當作支架，同樣也是因為以上的特性，只要做一組就可以使用好一陣子。

四、扇葉基座的設計和組裝

有了前面第二單元的基座設計，接下來我們考慮到的是以基座去延伸實驗變項，我們第一個想到的變項就是扇葉的數量，所以我們先分別設計了六葉、五葉、四葉和三葉的模型，扇葉基座的根據扇葉數量設計 PVC 水管可以安插的連接座，為了不讓 PVC 水管在扇葉受力時轉動，我們額外設計了兩個孔以便額外加裝螺絲，讓 PVC 水管可以更穩固。



發電機基座和扇葉基座模型



扇葉基座連結處



扇葉基座完整組裝

扇葉基座和發電機基座同樣都是使用 tinkercad 設計，可以根據我們想要的大小完全密合，多邊形轉置的角度也可以做到精準的程度。

五、研究環境設置

環境設置的目的是要確認我們每一次的實驗都是使用相同的風力、風力吹到發電機是相同的距離、風力面向發電機是相同的角度，實驗的同時，所有的門窗是關閉的，避免其他空氣流動干擾實驗結果。然後我們採用錄影的方式來紀錄數據，每一次紀錄都錄影 30 秒的長度，再慢速撥放影片登記數據，共紀錄 30 個數據，最後輸入到電腦計算平均值還有畫出圖表。

考量到組員共同編輯的便利性，我們使用 google 雲端硬碟共同儲存我們的實驗數據紀錄，一方面除了方便共用編輯還有公開透明的優點，讓組員隨時掌握實驗進度。



研究環境設定



使用三用電表紀錄電壓



完整安裝的風力發電機

六、實驗計劃階段

(一) 扇葉數量

扇葉的數量是我們考慮的第一個變項，常見的水平型的風力發電機的扇葉數



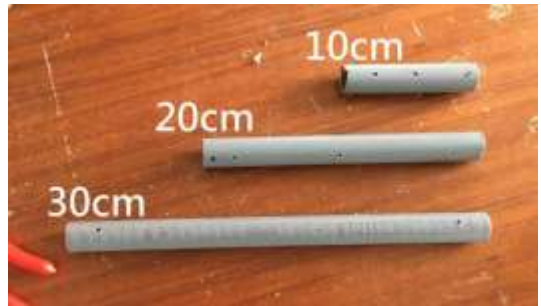
量是三葉，不過垂直軸的風力發電機扇葉數量比較多元，所以我們決定測試四個不同的選項，分別是三葉、四葉、五葉、六葉的扇



葉選項，如果實驗結果六葉實驗數據表現最好，就追加實驗七葉，如果三葉實驗數據表現最好，則追加實驗兩葉。

(二) 扇葉延伸的桿長

PVC 水管的長度也是我們的變項之一，根據這學期我們在自然課學到的知識「施力臂和抗力臂的長短會影響施力的大小。」，所以我們假設施力臂較長可以取得比較大的力道讓風扇轉得比較快，先設定 PVC 的



水管長度先設定在 30cm、20cm、10cm 三個變項，如果 30cm 的變項產出的電壓數值最高，再額外追加 40cm 長度的實驗變項，相同的如果電壓最高數值出現在 10cm，則考慮追加更短的實驗變項。

(三) 扇葉大小

參考「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這個研究，得出扇葉葉片越大所得電壓越大的結果，所以我們假設葉片越大能輸出的電壓越高，大小的變項我們



設定 10cm、20cm、30cm、40cm 四個變項。如果 40cm 的變項產出的電壓數值最高，再額外追加 50cm 長度的實驗變項，如果電壓最高數值出現在 10cm，則考慮追加更短的實驗變項。

(四) 扇葉角度

不只水平風力發電機的風扇有角度，一般家用的電扇扇葉同樣也有角度，電扇扇葉的角度是為了可以吹出風，如果反方向而言，是否有角度



的扇葉接收風力時可以轉得更快？

扇葉角度的變項我們設定 5° 、 10° 、 15° 、 20° 四個變項，如果 20° 的變項產出的電壓數值最高，再額外追加 25° 的實驗變項，如果電壓最高數值出現在 5° ，則考慮追加角度更低的實驗變項。



(五) 產出電能的應用

如果我們的實驗能順利產出電能，那是否可以將電能儲存起來，當我們需要的時候再將電能拿出來使用，這是我們實驗的最終目的，前面的實驗都是為了讓風電機產出更有效率，最後我們希望這個實驗可以真正應用在生活中。

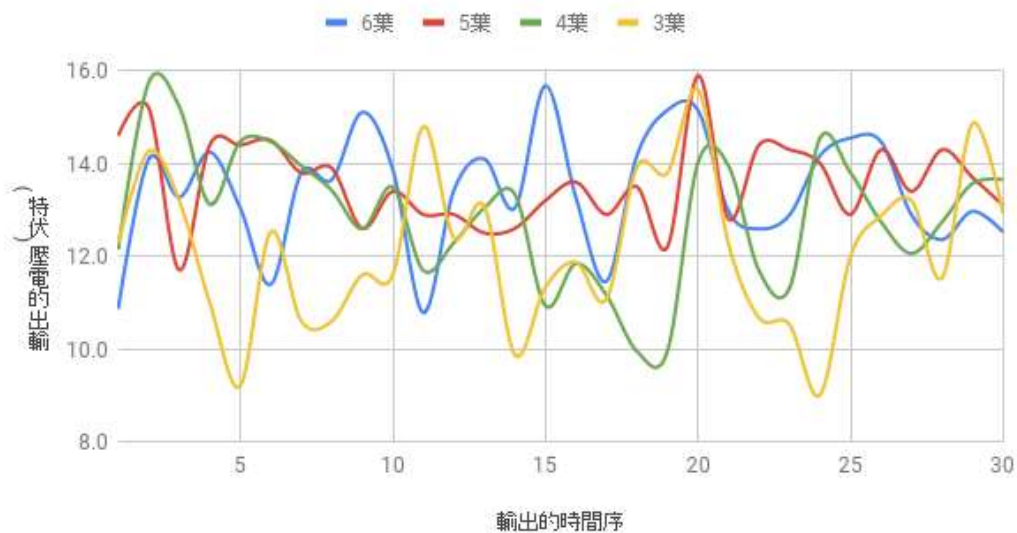
伍、 研究結果

一、扇葉數量多少對垂直軸發電機的影響

實驗階段	扇葉數量	支架長度	扇葉大小	面對風力角度
實驗一 扇葉數量	3	30cm	30cm x 40cm	0
	4	30cm	30cm x 40cm	0
	5	30cm	30cm x 40cm	0
	6	30cm	30cm x 40cm	0

() 不同扇葉數量輸出電壓數據及圖表

不同扇葉數量輸出電壓折線圖



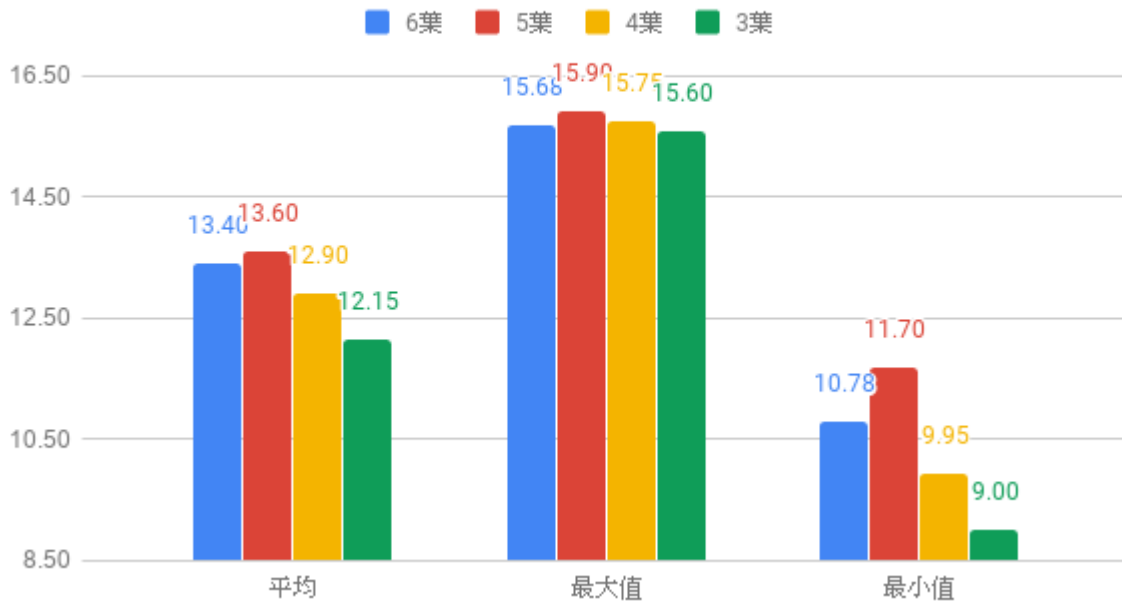
我們固定了支架長度、扇葉大小、面對風力角度這三個變項，變更扇葉數量執行實驗，過程中觀察到的數據是 5 葉的輸出電壓數值最高，不管是在平均、最高值還是最低值都是冠軍，但是差距並不大。相關完整數據都記錄在右邊 Qrcode 所包含的網址 <https://tinyurl.com/yxfuj647>。



(二) 不同扇葉數量輸出電壓數據的平均值、最大值和最小值比較

扇葉數	6	5	4	3
平均	13.40	👑13.60	12.90	12.15
最大值	15.68	👑15.90	15.75	15.6
最小值	10.78	👑11.70	9.95	9.0

不同扇葉數量輸出電壓平均值比較表

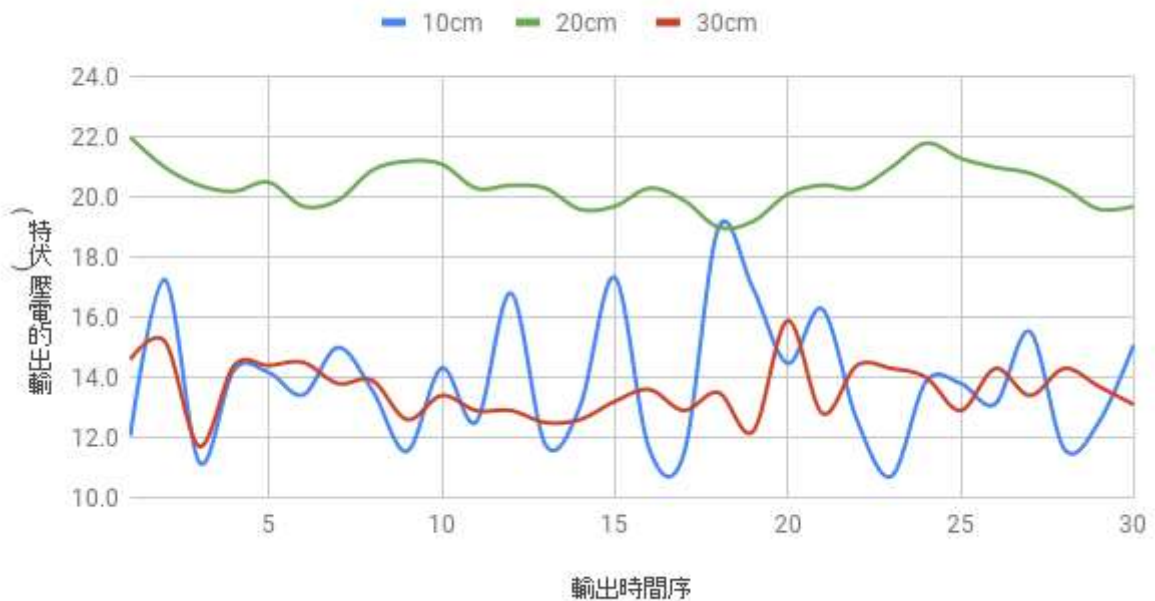


二、扇葉支架長度對垂直軸發電機的影響

實驗階段	扇葉數量	支架長度	扇葉大小	面對風力角度
實驗二 扇葉支架	5	10cm	10cm x 40cm	0
	5	20cm	20cm x 40cm	0
	5	30cm	30cm x 40cm	0

(·) 不同扇葉支架長度輸出電壓數據及圖表

不同扇葉支架長度輸出電壓折線圖



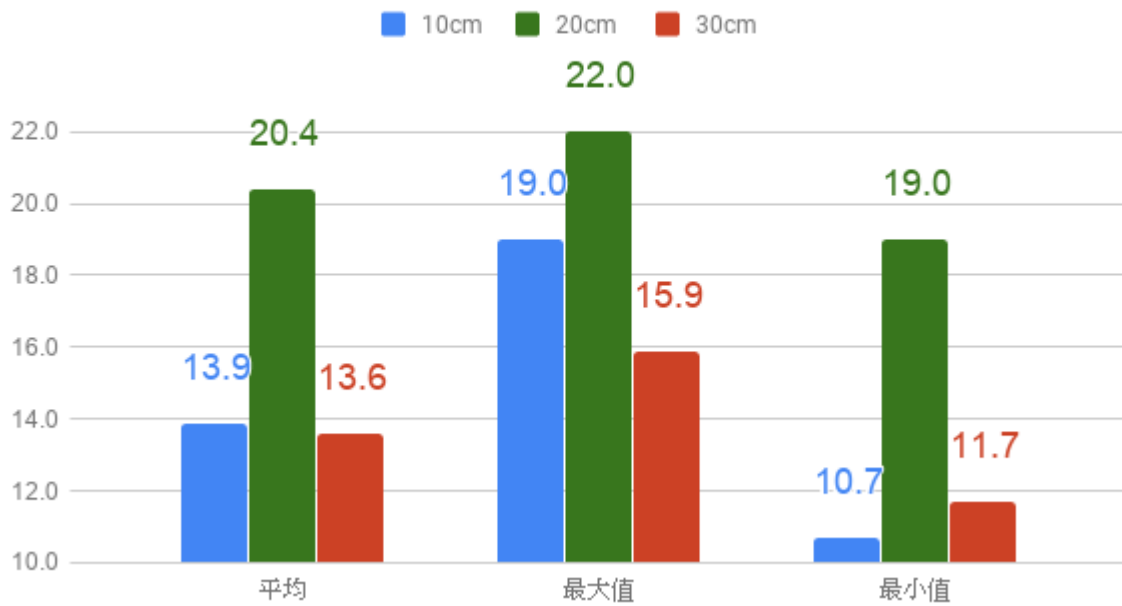
根據第一個實驗的結果，第二個實驗我們固定了扇葉數量、扇葉長度、面對風力角度這三個變項，變更扇葉數量執行實驗，結果 20cm 的支架長度在輸出電壓數值上遠勝(多了 50%以上)其他兩個變項，不論是整體折線圖還是平均值都有相當明顯的差距。相關完整數據都記錄在右邊 Qrcode 所包含的網址 <https://tinyurl.com/y2k37ev4>。



(二) 不同扇葉支架長度輸出電壓數據的平均值、最大值和最小值比較

支架長度	10 cm	20 cm	30 cm
平均	13.9	👑20.4	13.6
最大值	19.0	👑22.0	15.9
最小值	10.7	👑19.0	11.7

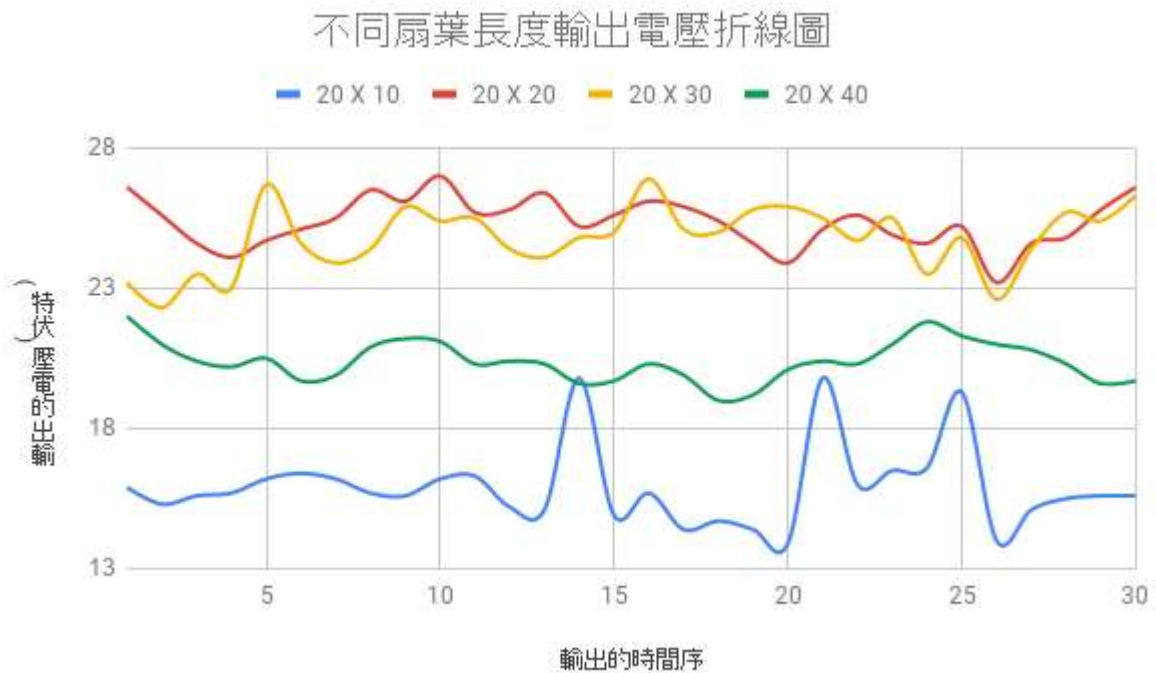
不同扇葉支架長度輸出電壓平均值比較表



三、扇葉長度大小對垂直軸發電機的影響

實驗階段	扇葉數量	支架長度	扇葉大小	面對風力角度
實驗三 扇葉大小	5	20cm	10cm x 20cm	0
	5	20cm	20cm x 20cm	0
	5	20cm	30cm x 20cm	0
	5	20cm	40cm x 20cm	0

() 不同扇葉長度輸出電壓數據及圖表



根據前兩個實驗的結果，第三個實驗我們固定了扇葉數量、扇葉支架長度、面對風力角度這三個變項，變更扇葉長度執行實驗，結果 20cm x 20cm 的扇葉在輸出電壓數值稍微贏過 30cm x 20cm，尤其是在整體折線圖可以觀察到兩者在伯仲之間，對 10cm x 20cm 和 40cm x 20cm 兩個變項則可以看出比較明顯的差距，折線圖和

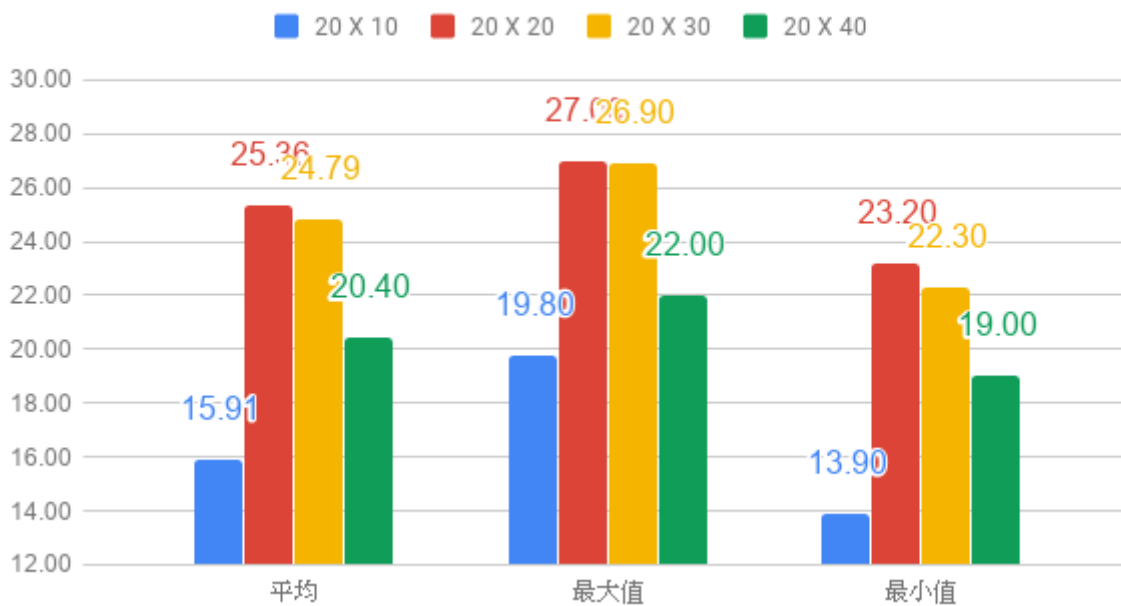


平均值圖表的差距都相當明顯。相關完整數據都記錄在右邊 Qrcode 所包含的網址 <https://tinyurl.com/y6favcv8>。

(二) 不同扇葉長度輸出電壓數據的平均值、最大值和最小值比較

扇葉大小	10cm x 20cm	20cm x 20cm	30cm x 20cm	40cm x 20cm
平均	15.91	👑25.36	24.79	20.40
最大值	19.80	👑27.00	26.90	22.00
最小值	13.90	👑23.20	22.30	19.00

不同扇葉長度輸出電壓平均值比較表

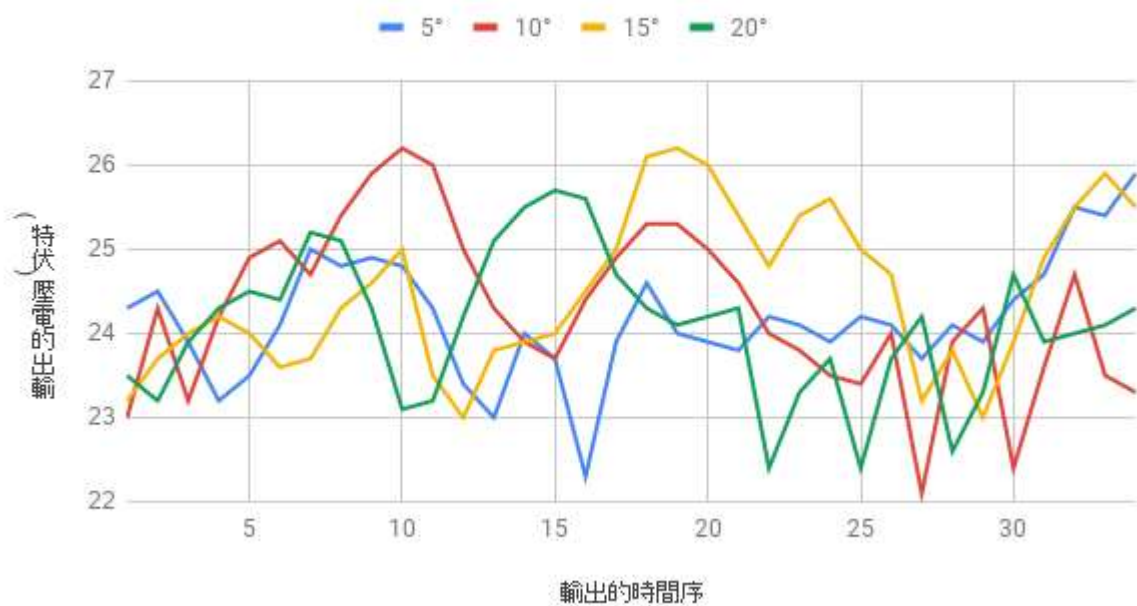


四、扇葉角度大小對垂直軸發電機的影響

(一) 不同扇葉角度輸出電壓數據及圖表

實驗階段	扇葉數量	支架長度	扇葉大小	面對風力角度
實驗四 扇葉角度	5	20cm	20cm x 20cm	5°
	5	20cm	20cm x 20cm	10°
	5	20cm	20cm x 20cm	15°
	5	20cm	20cm x 20cm	20°

不同扇葉角度輸出電壓折線圖 - I



根據前面實驗的結果，第四個實驗我們固定了扇葉數量、扇葉支架長度、扇葉長度這三個變項，變更面對風力角度執行實驗，原本預期扇葉轉角度之後，輸出電壓數值可以比原本的0°稍微高一點，結果平均值上卻輸給了原本的0°，雖然差距並不明顯，但是我們經過一番討論，我們猜測可能原因是風力吹向扇葉之後，因為角度會比原本的角度更大讓力道減弱，所以整體的數值都不如原本的0°，反過來想實驗四是往逆時針轉角度，如果把角度往順時針轉輸出電壓數值會更高嗎？相關完整

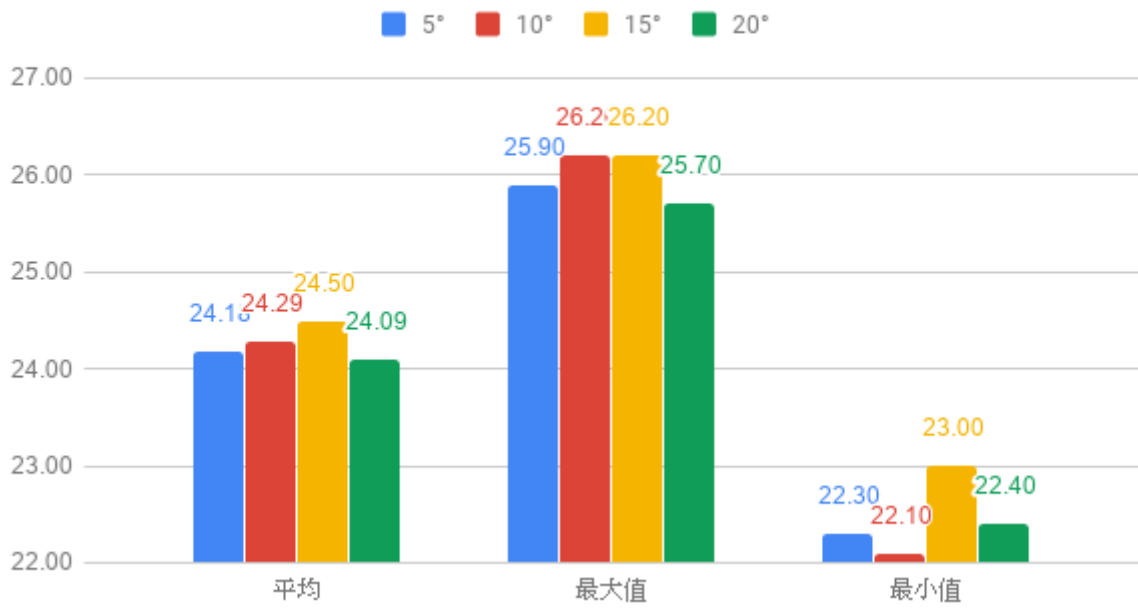


數據都記錄在右邊 Qrcode 所包含的網址 <https://tinyurl.com/y4eqkdf1>。

(二) 不同扇葉角度輸出電壓數據的平均值、最大值和最小值比較

扇葉角度	5°	10°	15°	20°
平均	24.18	24.29	👑24.50	24.09
最大值	25.90	👑26.20	👑26.20	25.70
最小值	22.30	22.10	👑23.00	22.40

不同扇葉角度輸出電壓平均值比較表 - I

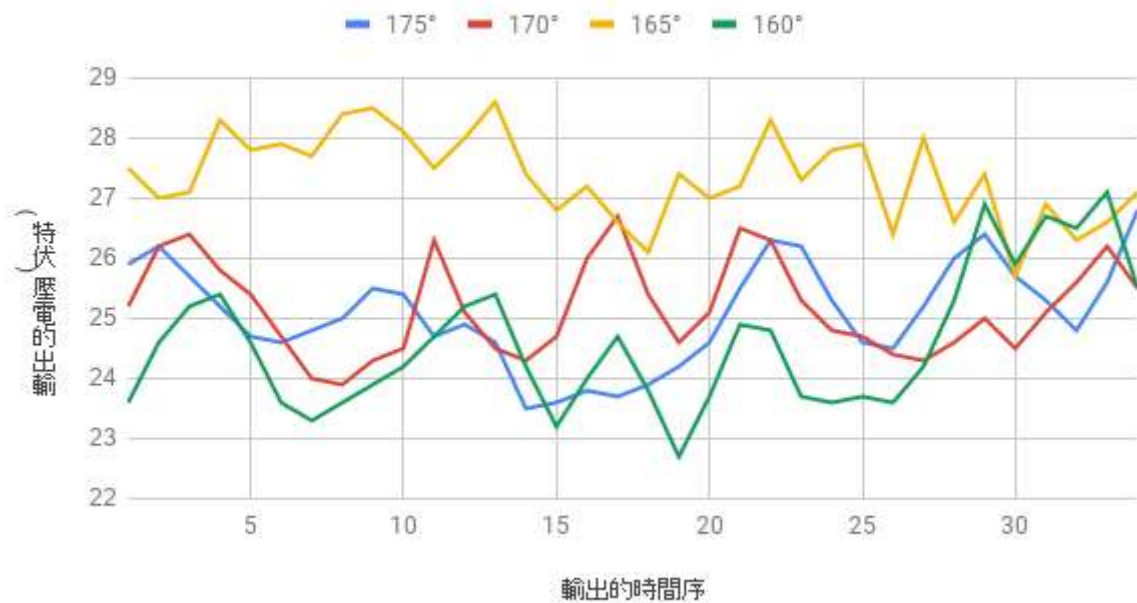


五、扇葉角度大小對垂直軸發電機的影響

(一) 不同扇葉角度輸出電壓數據及圖表

實驗階段	扇葉數量	支架長度	扇葉大小	面對風力角度
實驗五 扇葉角度	5	20cm	20cm x 20cm	175°
	5	20cm	20cm x 20cm	170°
	5	20cm	20cm x 20cm	165°
	5	20cm	20cm x 20cm	160°

不同扇葉角度輸出電壓折線圖 - II



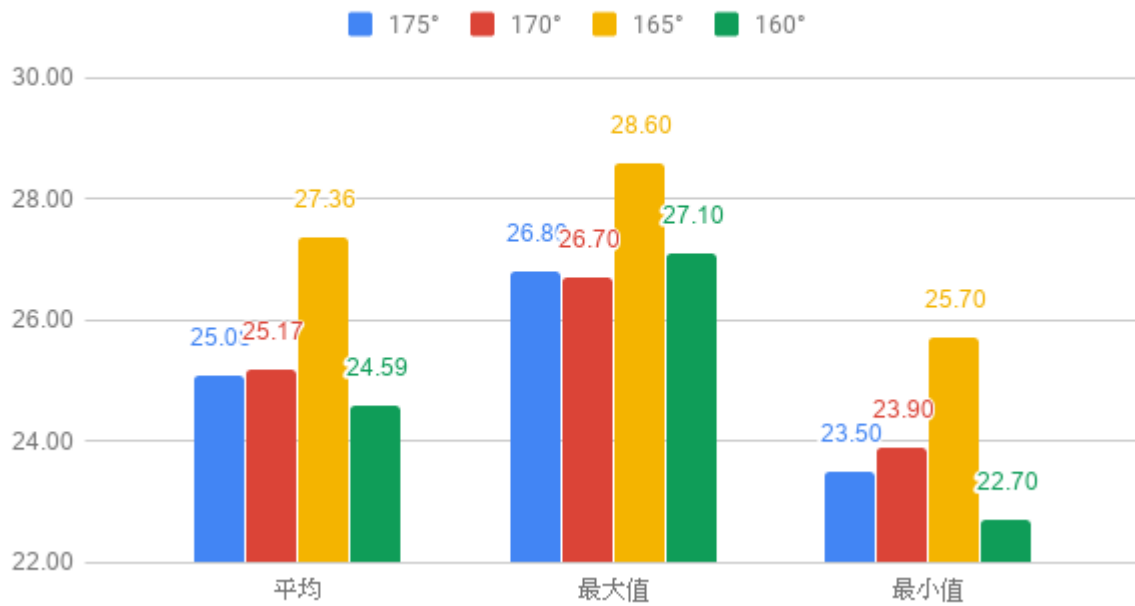
這次補上的實驗我們改變了旋轉角度，同樣固定扇葉數量、扇葉支架長度、扇葉長度這三個變項，改變上一個實驗風力碰撞扇葉後會受風面角度會加大的缺點，實驗結果 165°產出的電壓數值約上昇了 10%左右，不過一旦縮減成 160°，數據就開始下滑，所以就不再繼續往下縮減角度實驗。相關完整數據都記錄在右邊 Qrcode 所包含的網址 <https://tinyurl.com/y4eqkdf1>。



(二) 不同扇葉角度輸出電壓數據的平均值、最大值和最小值比較

扇葉角度	175°	170°	165°	160°
平均	25.08	25.17	👑27.36	24.59
最大值	26.80	26.70	👑28.60	27.10
最小值	23.50	23.90	👑25.70	22.70

不同扇葉角度輸出電壓平均值比較表 - II



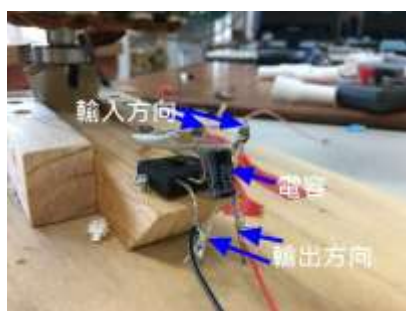
六、垂直軸發電機如何應用在生活中

經過前面的實驗拼湊出最棒的輸出電壓變項組合，如果發電機發出來的電力可以儲電後，再利用它來供手機或平板電腦進行輸出，應該會是最棒的應用，畢竟現今的生活中最重要的行動裝置就是靠 USB 就種小量的供電系統。

所以我們先嘗試將垂直軸發電機輸出的交流電轉換成直流電，參考了魏必忠老師的「自製風力發電機」，當中提到了橋式整流器可以將原本的交流電轉成直流電，所以我們將原本接在三用電表的正負極接上橋式整流器，再用兩組三用電表觀察轉動後的電壓數值，我們發現經過橋式整流器整流後數值會些微上升。



發電機連接橋式整流



橋式整流和電容



轉換前後的電壓

轉換成直流電之後的電壓還需要將有電容加入暫時儲存電力，電容的加入可以讓電壓維持在穩定的數值，不會因為風力暫時就讓電壓急速下降甚至歸零，轉換之後的直流電我們再透過降壓模組讓電壓降低到 5 伏特儲存到行動電源。



整流後連接降壓模組



降壓至 5 伏特

陸、 討論

一、扇葉數量實驗

與一開始我們預測三葉的結果不同，我們的猜測是根據水平軸風力發電機都是三葉為主，而且三葉的總扇葉數量較少，總重量應該也比較低，所以猜測是數量組中表現最好。實驗結果發現五葉的發電機效果最好，測量出的電壓最高。

可能是因為五葉的發電機扇葉數量其他扇葉的受力間隔時間比較小，因此受風頻率比較多，轉動的速度也比較快，六葉在受風頻率更密集，但是在還沒推動完整前，下一個葉片已經出現，導致產出的電壓微微下降。

二、扇葉支架長度

我們經由前面的實驗，所以我們將扇葉數量固定為五葉，進行後續支架長度的實驗，以了解支架長度對電壓輸出有沒有影響。實驗前預測支架長度為 30cm 的發電機，因為施力臂較長使受力較大，轉速應該比較快，但從前面的討論發現，受風頻率似乎是影響轉速的關鍵因素之一，根據六年級學過的輪軸原理，如果輪越小，轉動的速度會越快，在同樣扇葉數量的條件下，從 30cm 的支架縮短到 20cm 後，受風頻率變快使得產出的電壓提升，所以我們陸續將支架長度縮短，進行觀察實驗，結果一如預期，20cm 的支架，旋轉的速度最快，輸出電壓最高。

但是 10cm 的支架力臂變得太短，雖然受風頻率提昇，但是推動的力道難以讓扇葉旋轉，使得產出的電壓數據遠低於 20cm(20cm 支架：20.4 伏特，10cm 支架：13.9 伏特)。

三、扇葉大小實驗

我們原本預測扇葉尺寸越大，受風面積越大，效果越好。結果實驗結果完全出乎我們的意料。經大家共同討論結果發現，可能是因為較寬的葉片，雖然受風面積大，但轉動的過程當中，葉片背面的面積過大，無形中也增加了轉動的阻力，讓速度變慢，加以較長的葉片，重量也較重，對於我們用於實驗的發電機而言，也減緩了轉動的速度。至於較短的葉片，除了重量比較輕之外，氣流的擾動與轉動時的空氣阻力均比較小，所以可以讓轉動的速度變快，也增加了電壓的輸出。但是縮短長度還是有極限存在，縮短到 20cm 產出的電壓數據平均最高，縮短成 10cm 產出的電壓數據就開始下降。

四、扇葉角度實驗

第一次實驗發現 0°的扇葉比 5°、10°、15°、20°的扇葉成效還好，結果會如此可能是因為扇葉在受風之後扇葉漸漸向後移動，所以受風面漸漸轉成逆時針的角度，而且會隨時間角度越來越大，直到下一片扇葉再進入受風範圍，所以受風面風力越接近 90°時，產出的電壓數據越高，但是逆時針角度會隨著時間漸漸增加，導致產出的電壓數據漸漸下滑。

所以第二次實驗，轉了 175°、170°、165°、160°讓風力和扇葉角度接近 90°的持續時間增加一些，在轉 165°的實驗中取得了全部實驗的最佳平均電壓數據 27.36 伏特。

柒、 結論

一、研究結論

經由上述討論，本實驗獲致如下結論：

1. 扇葉的數量為 5 葉時，自製垂直軸發電機的輸出電壓的平均值最高。
2. 扇葉支架長度為 20cm 時，自製垂直軸發電機的輸出電壓的平均值最高。
3. 扇葉大小為 20cm x 20cm 時，自製垂直軸發電機的輸出電壓的平均值最高。
4. 扇葉轉置的角度為 165 度時，自製垂直軸發電機的輸出電壓的平均值最高。
5. 所有的變項皆會交互影響，調節受風頻率、受風角度的最佳組合可以取得自製垂直軸發電機的輸出電壓的最高數值。

二、後續研究建議

其實還有一些研究的方向來不及在這次實驗中完成，像是「扇葉的流線設計」、「扇葉的形狀」等方向，有礙於能力和器材上未能達到水準，尚未能親自實驗。

本研究相關 3D 模具將在比賽後公開在 <https://sites.google.com/mail.phc.edu.tw/ccps-science-fair-2019>，讓想接續本研究內容繼續前進的科學愛好者，不用再重新創造輪子，打造一組強力的風力發電機。

捌、參考資料及其他

1. 魏必忠。取自教育大市集-自製風力發電機。取自 <https://market.cloud.edu.tw/api/download/241570/Oct4zrTVcs/pdf>
2. GREENPOWERSCIENCE. CEILING FAN ALTERNATOR AC to DC Power Supply Converter. Retrieved April 02, 2019, from <https://www.youtube.com/watch?v=-owTXrFX5Ew>
3. 洪毅;王子豪;羅昀謙;蔡馥宇;黃秋蓉;許碩芬(2009)。『隨風不轉舵』-垂直軸風力發電機之研究與應用。取自 <https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=46&a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=4&sid=5326>
4. 劉都晉;吳岱穎;劉庭瑋(2012)。「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。取自 <https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=64&a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=27&sid=9682>
5. 余昕儒;顏詩樺;蘇紘禾;朱珮綸;黃丞瑜;林致宇(2016)。舞風高手－垂直軸風力發電機之研究與應用。取自 <https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=64&a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=6&sid=13218>
6. FENG CHI(2012)。0921315178 簡單型 -DIY 垂直式風力發電機 Wind-driven-generator。取自 <https://www.youtube.com/watch?v=zTmEPW9AiAg>

【評語】 082814

1. 參考 Youtube 影片及教學網站資料，將廢棄不用的電扇馬達改造成垂直軸風力發電機，利用 3D 列印製造所需要的零組件，再進行不同葉片裝置的實驗，找出最佳方案，實驗精神可佳。
2. 能以 3D 列印設計出多項實用的風扇零組件，以國小學生而言是件不容易的事。
3. 使用廢棄不用的電扇馬達，廢物再利用，能結合學習內容進行相關研究，實驗結果具有實用價值。
4. 目標函數為最大輸出電壓，發電如何儲存長久未來是個重要議題；較為系統性的討論各個變因對於輸出電壓的影響是有待加強的。

研究動機

日常生活中人人需要用電，目前臺灣發電以燃煤發電為主，占了總能源輸出的68%，而燃煤發電容易為地球造成汙染，日益惡化的極端氣候及全球暖化都在提醒我們盡快減少燃燒石化燃料獲取能源，相對的風能正巧是豐富、可再生、分布廣泛、潔淨且無污染的自然能源。

身處於東北季風強大的澎湖的我們，對於風力都有特別的想像，因此想要設計一種能夠結合在地特色與校園環境，既有效又環保的發電方式。

研究目的

我們的研究目的是找出轉速最快的垂直軸扇葉，運用學校的廢棄物，設計一套能發電的裝置，來探索扇葉、風和電力的關係。我們的研究問題如下：

1. 扇葉數量多少對垂直軸發電機的影響。
2. 扇葉大小對垂直軸發電機的影響。
3. 支架長短對垂直軸發電機的影響。
4. 扇葉角度大小對垂直軸發電機的影響。
5. 垂直軸發電機如何應用在生活中。

製作過程

風力發電機組裝和設計

我們拆開壞吊扇，旋轉外殼轉動磁鐵來發電，並利用3D列印設計一個似原本風扇外殼的道具，讓我們可以用電動螺絲起子穩定的力量轉動電扇外殼。

原本電扇的外圈磁鐵磁力不夠，所發出的電力大約僅有0，我們參考 Youtube 影片使用磁力較強的釹磁鐵增加磁力，影片中磁鐵是N-S-N-S交錯放置，總共放置16個磁鐵，使用電動螺絲起子旋轉後產出的電壓最高出現82.2伏特。



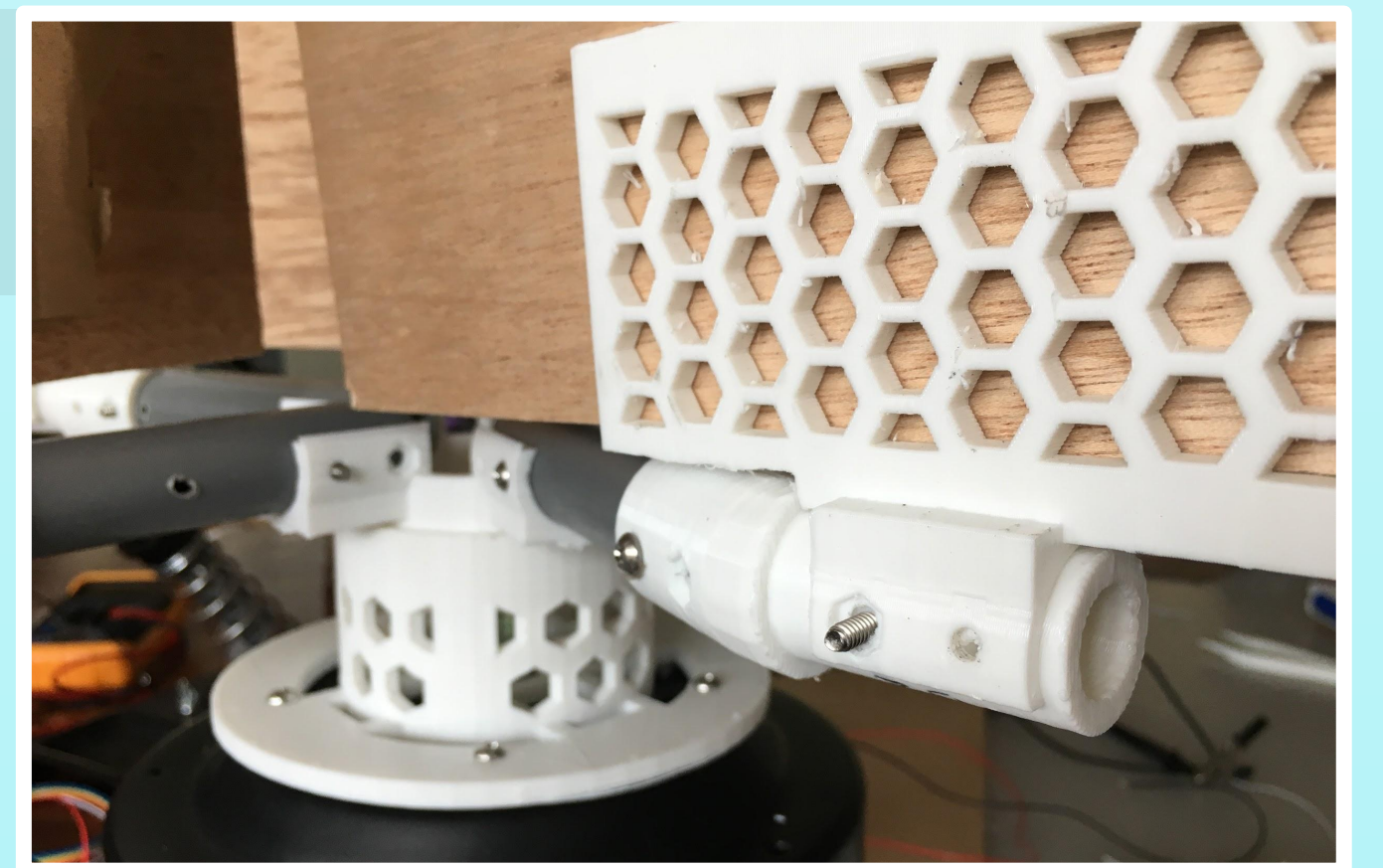
扇葉材質的選用

我們想要使用塑膠水管、帆布、硬紙板、壓克力板、木板等作為扇葉的材料，但是這些材料都面臨固定與直立的問題，讓扇葉可以接受風力。我們最後只考慮木片和寶特瓶，除了生活中較容易取得，同時它們的形狀也比較好固定並站立。

扇葉基座的設計和組裝

我們設計了六葉、五葉、四葉和三葉的模型，扇葉基座根據扇葉數量設計 PVC 水管的連接座，為了固定 PVC 水管，我們設計了兩個螺絲孔，讓 PVC 水管可以更穩固。

扇葉基座也是使用 tinkercad 設計，可以根據我們想要的大小完全密合，多邊形轉置的角度也可以做到精準的程度。



研究環境設置

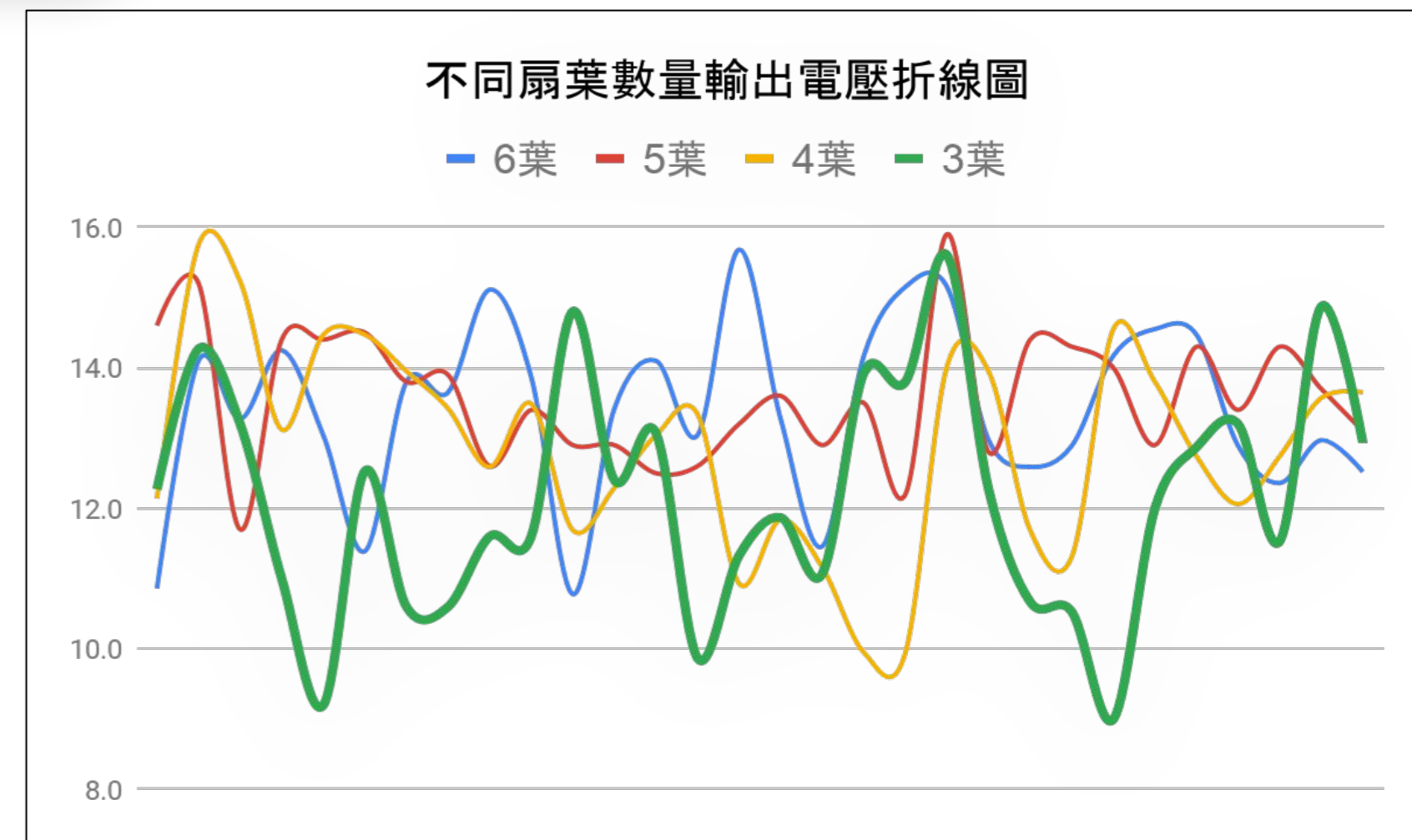
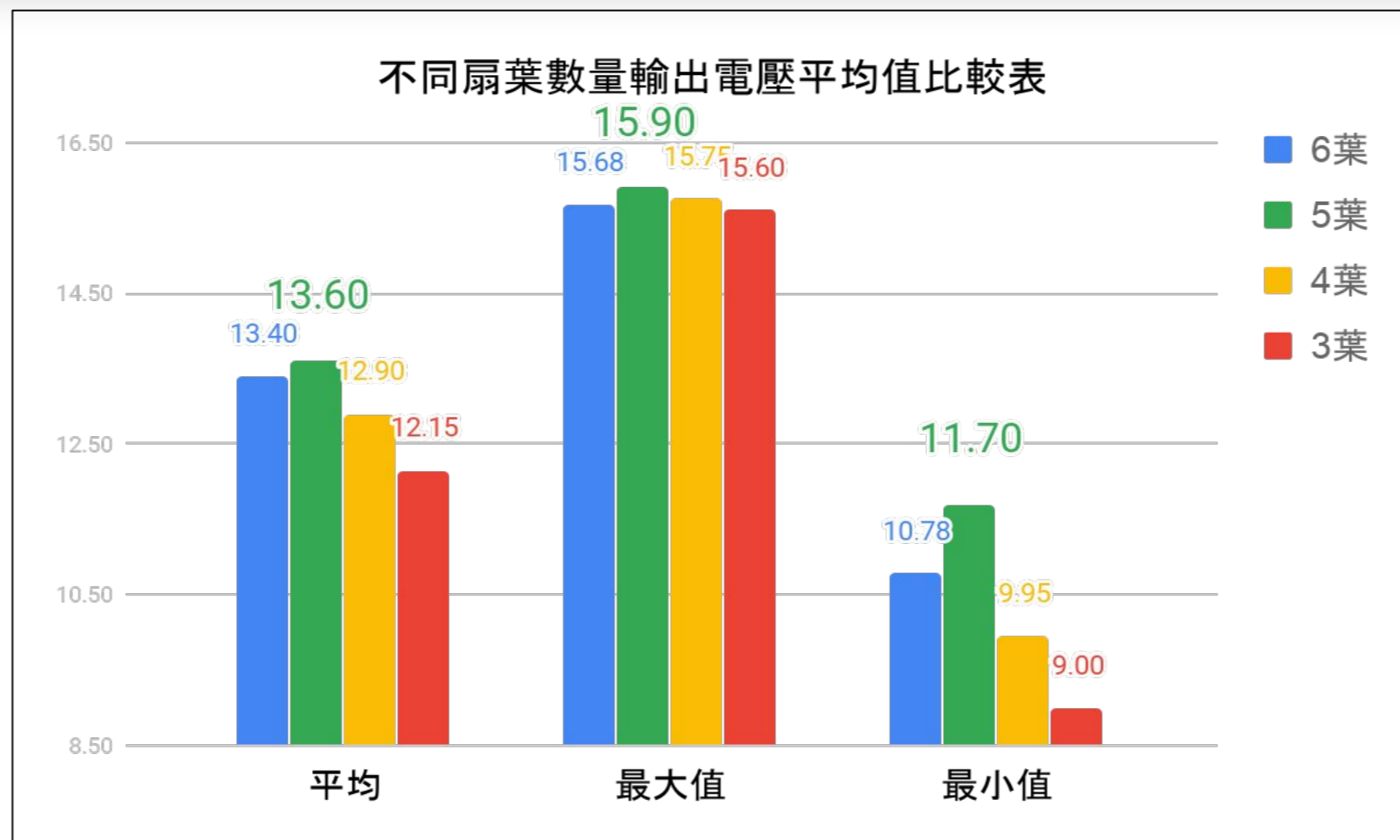
實驗時，我們固定相同的風力、風力吹到發電機的距離、風力面向發電機的角度，且所有的門窗是關閉的，避免空氣流動干擾實驗結果。我們以錄影紀錄數據，每一次紀錄 30 秒的長度，再慢速撥放影片紀錄 30 個數據，最後計算平均值並畫出圖表。

我們使用 google 雲端硬碟共同儲存我們的實驗數據紀錄，方便共用編輯及公開透明的優點，讓組員隨時掌握實驗進度。



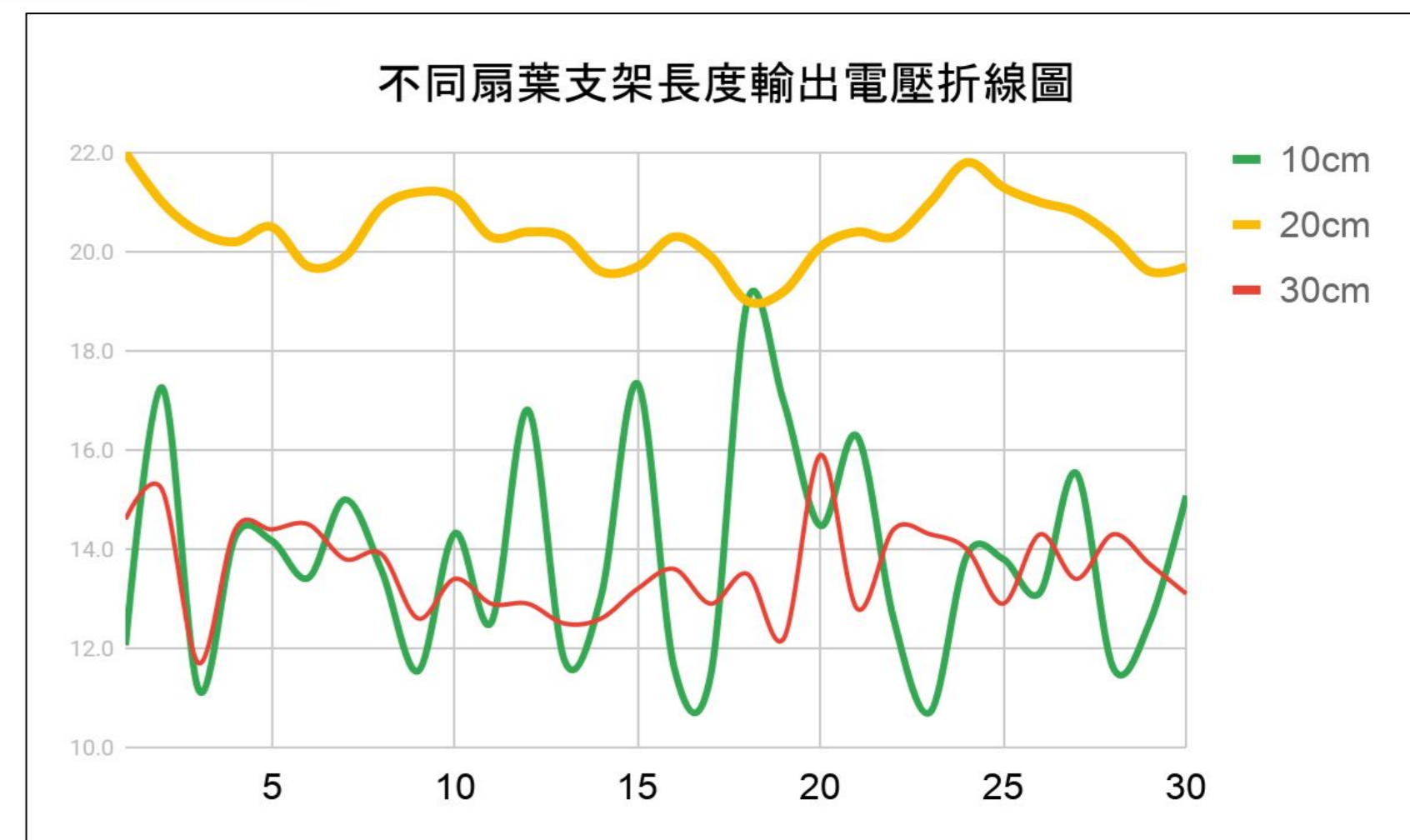
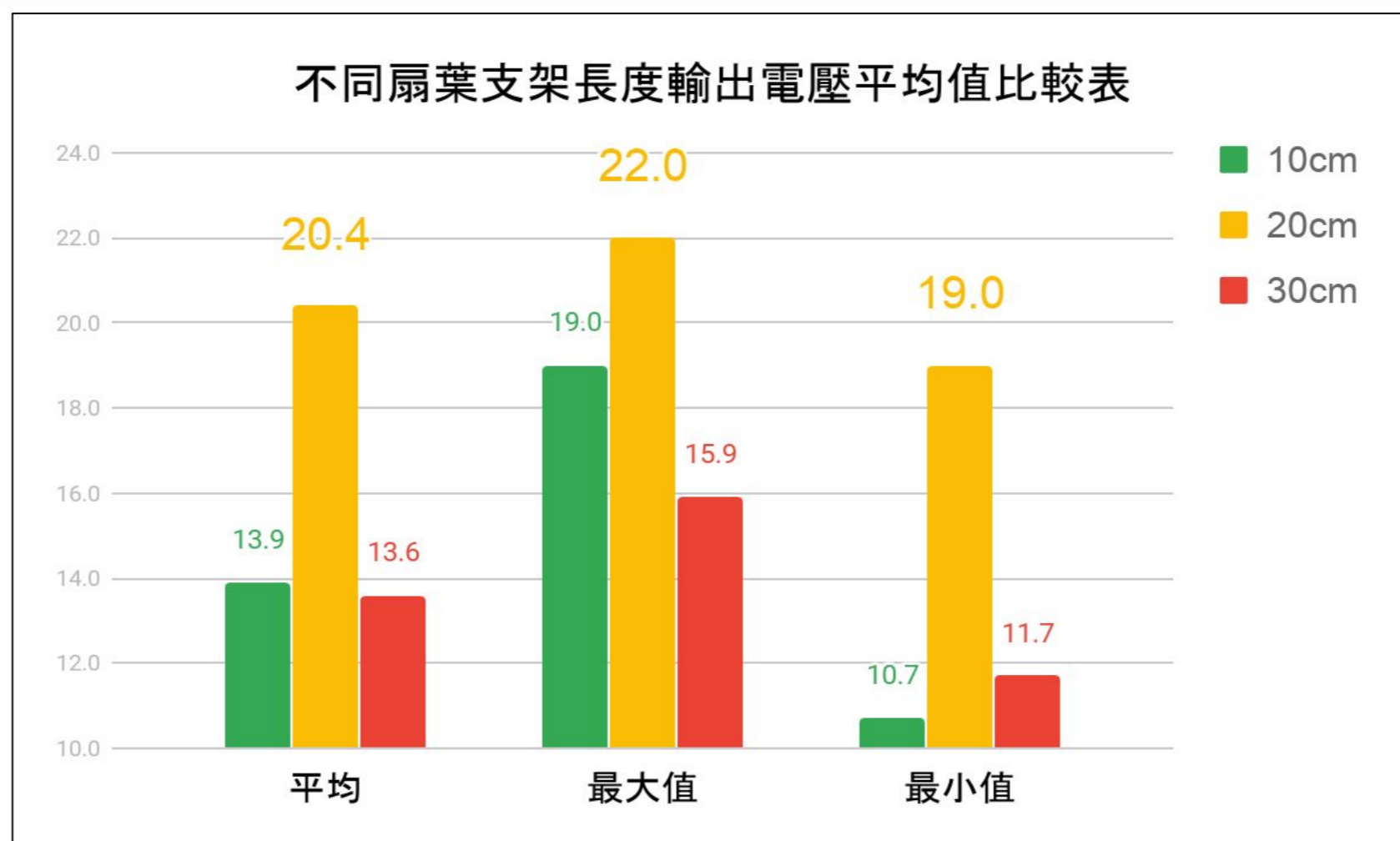
一、扇葉數量多少對垂直軸發電機的影響

我們固定了支架長度、扇葉大小、面對風力角度這三個變項，變更扇葉數量執行實驗，過程中觀察到的數據是 5 葉的輸出電壓數值最高，不管是在平均、最高值還是最低值都是冠軍，但是差距並不大。相關完整數據都記錄在 Qrcode 所包含的網址。



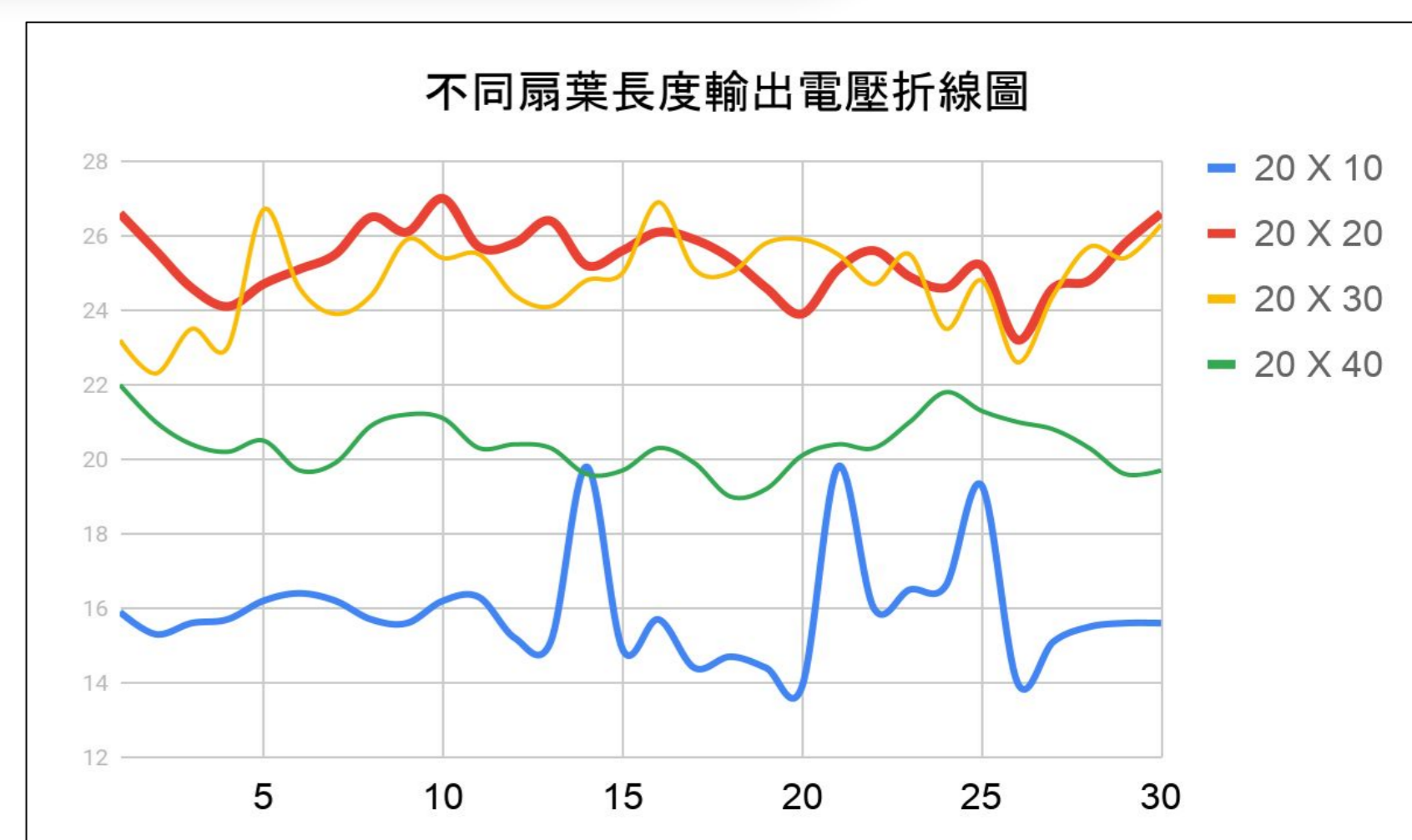
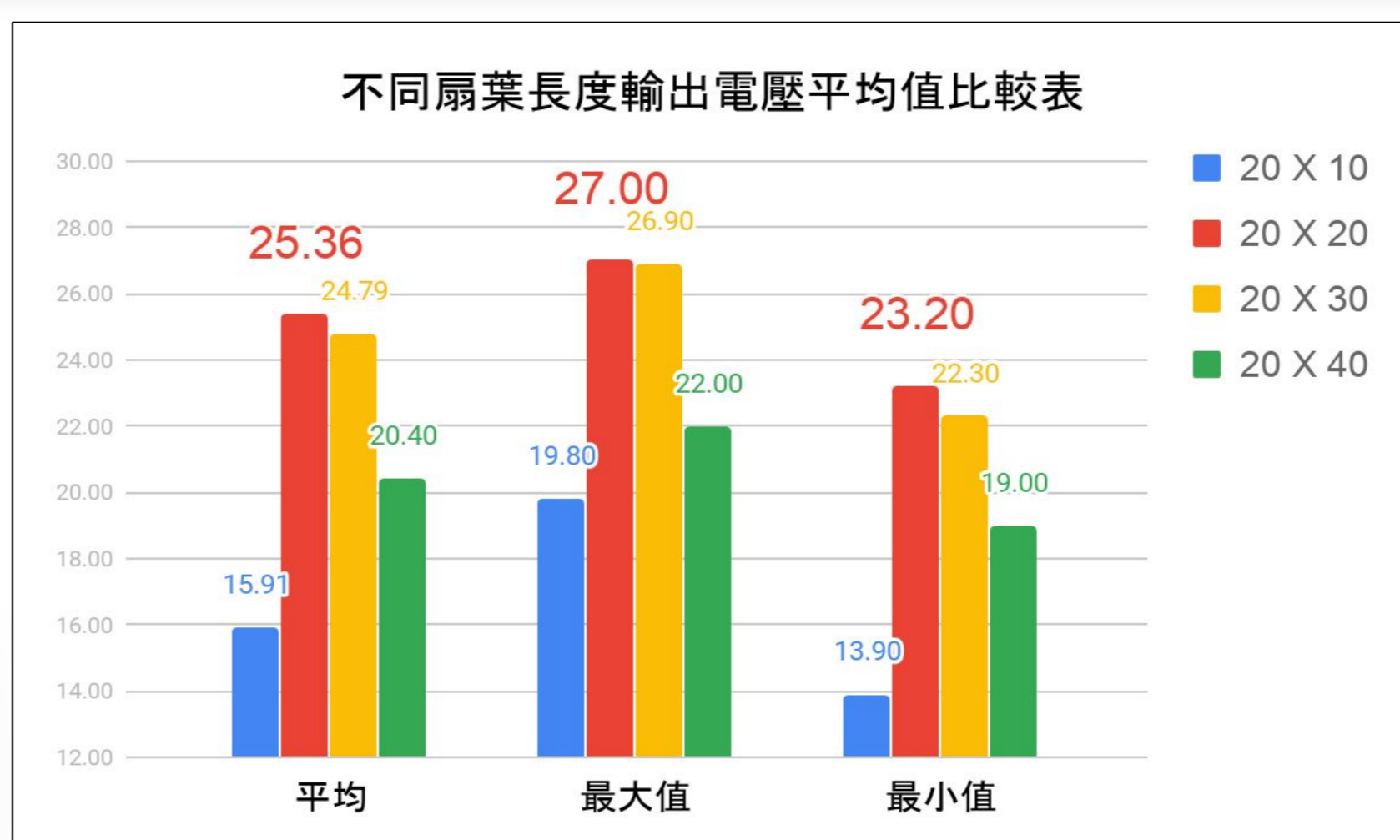
二、扇葉支架長度對垂直軸發電機的影響

根據第一個實驗的結果，第二個實驗我們固定了扇葉數量、扇葉長度、面對風力角度這三個變項，變更扇葉數量執行實驗，20cm 的支架長度在輸出電壓數值上遠勝(多了 50%以上)其他兩個變項，整體折線圖還是平均值都有相當明顯的差距。相關完整數據都記錄在 Qrcode 所包含的網址。



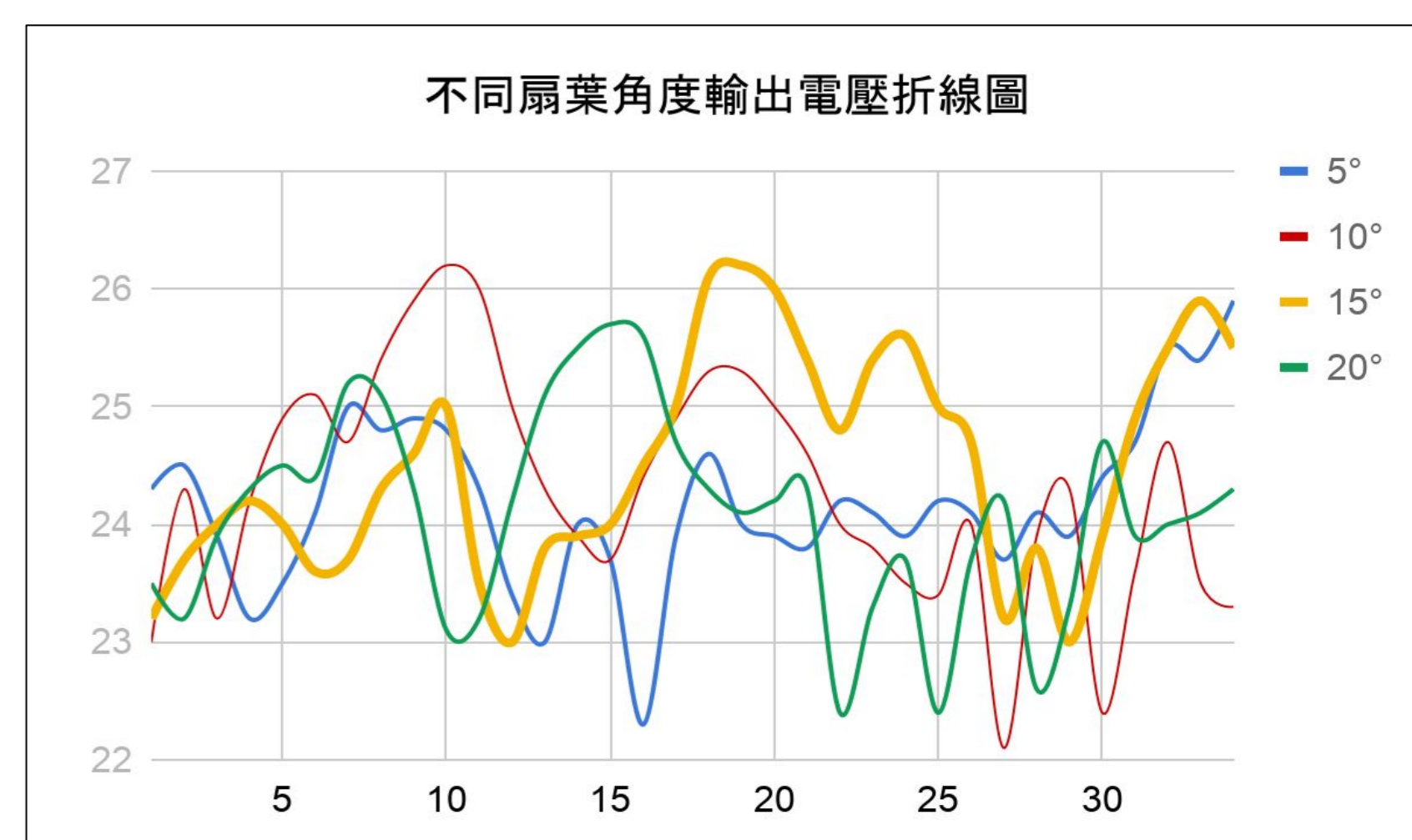
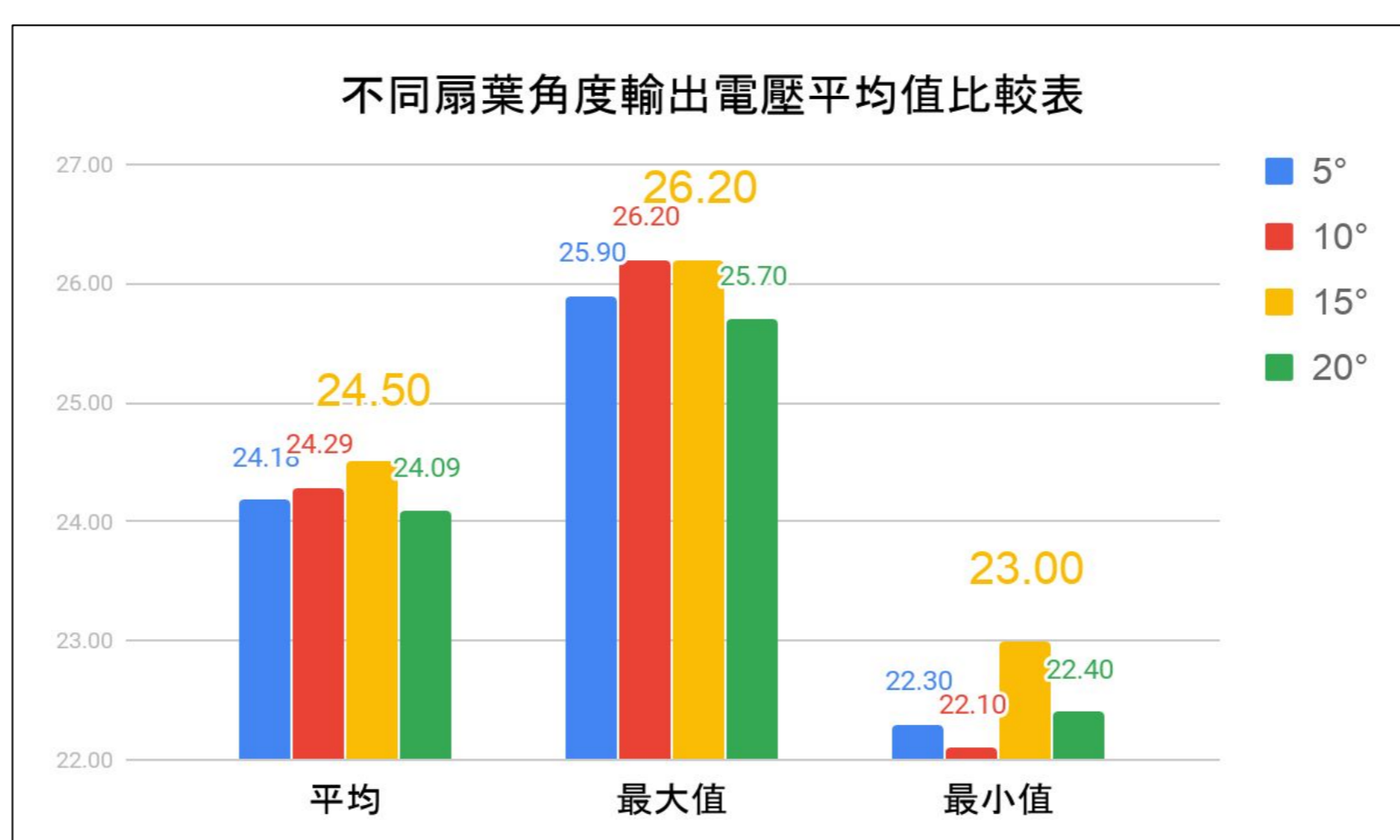
三、扇葉長度大小對垂直軸發電機的影響

根據第一個實驗的結果，第二個實驗我們固定了扇葉數量、扇葉長度、面對風力角度這三個變項，變更扇葉數量執行實驗，結果 20cm 的支架長度在輸出電壓數值上遠勝(多了 50%以上)其他兩個變項，不論是整體折線圖還是平均值都有相當明顯的差距。相關完整數據都記錄在 Qrcode 所包含的網址。



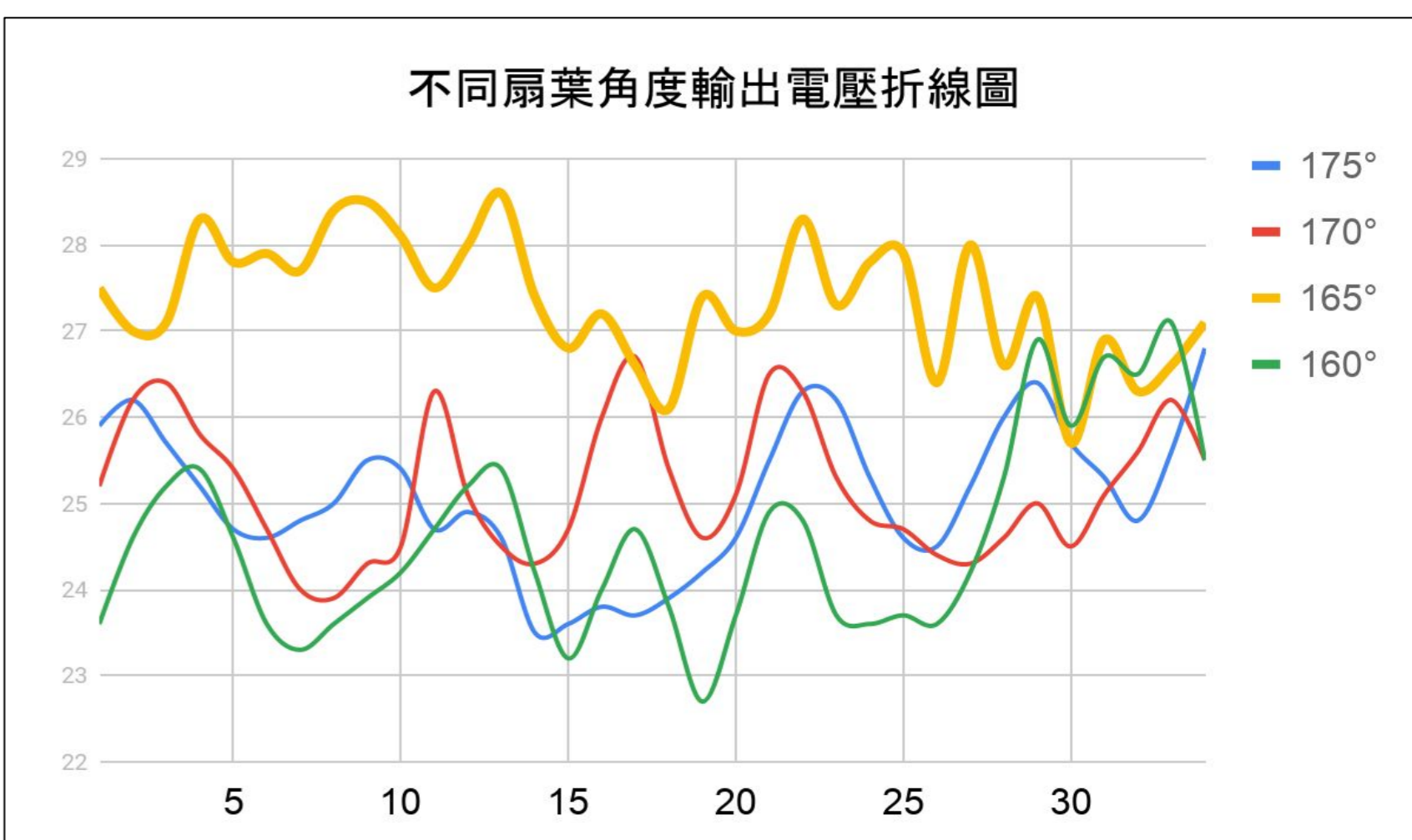
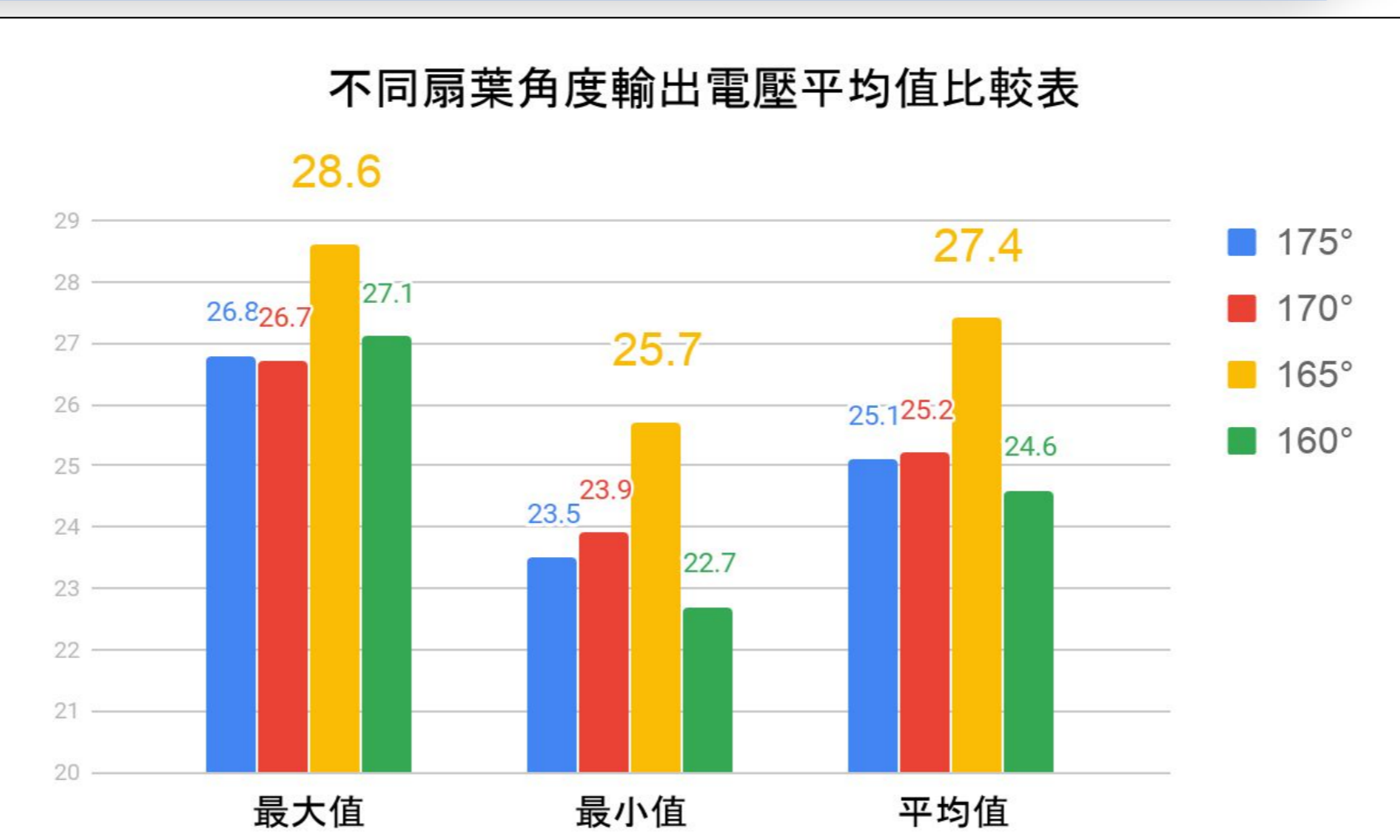
四、扇葉角度大小對垂直軸發電機的影響 1

根據前面實驗的結果，第四個實驗我們固定了扇葉數量、扇葉支架長度、扇葉長度這三個變項，變更面對風力角度執行實驗，原本預期扇葉轉角度之後，輸出電壓數值可以比原本的 0° 稍微高一點，結果平均值上卻輸給了原本的 0°，雖然差距並不明顯，但是我們經過一番討論，我們猜測可能原因是風力吹向扇葉之後，因為角度會比原本的角度更大讓力道減弱，所以整體的數值都不如原本的 0°，如果實驗四是往逆時針轉角度，如果把角度往順時針轉輸出電壓數值會更高嗎？相關完整數據都記錄在右邊 Qrcode。



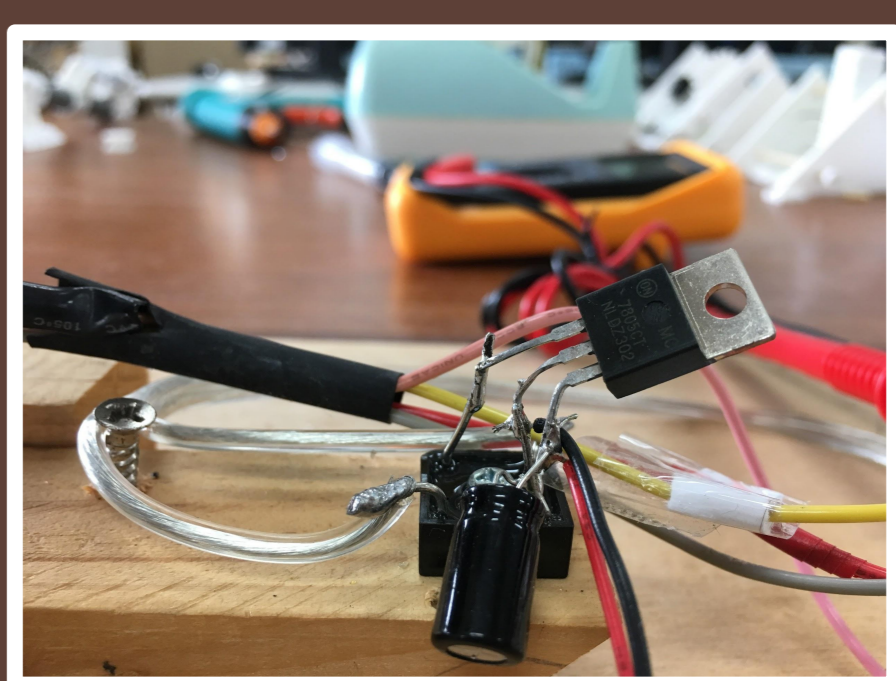
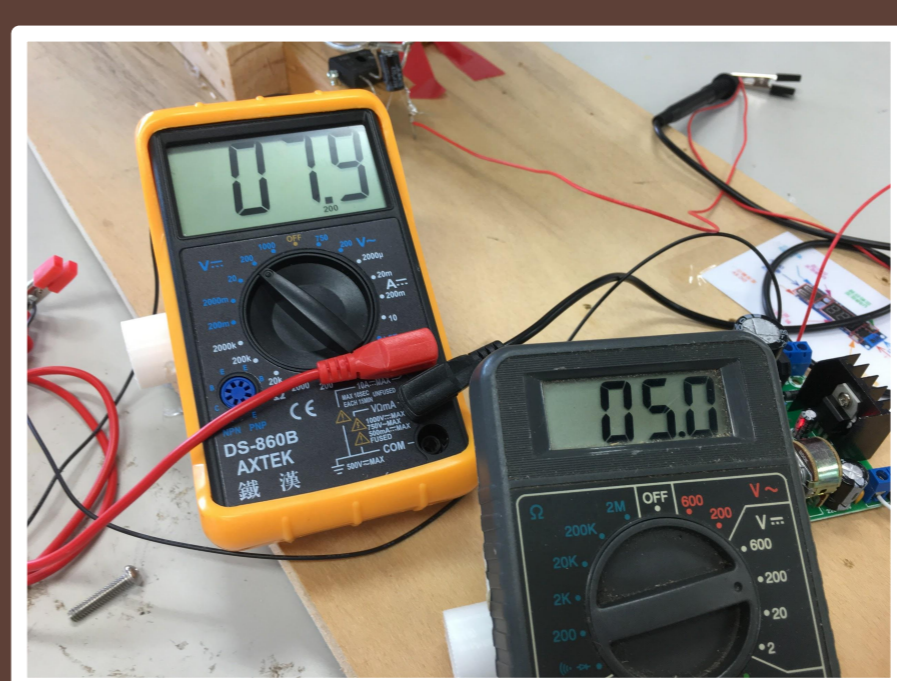
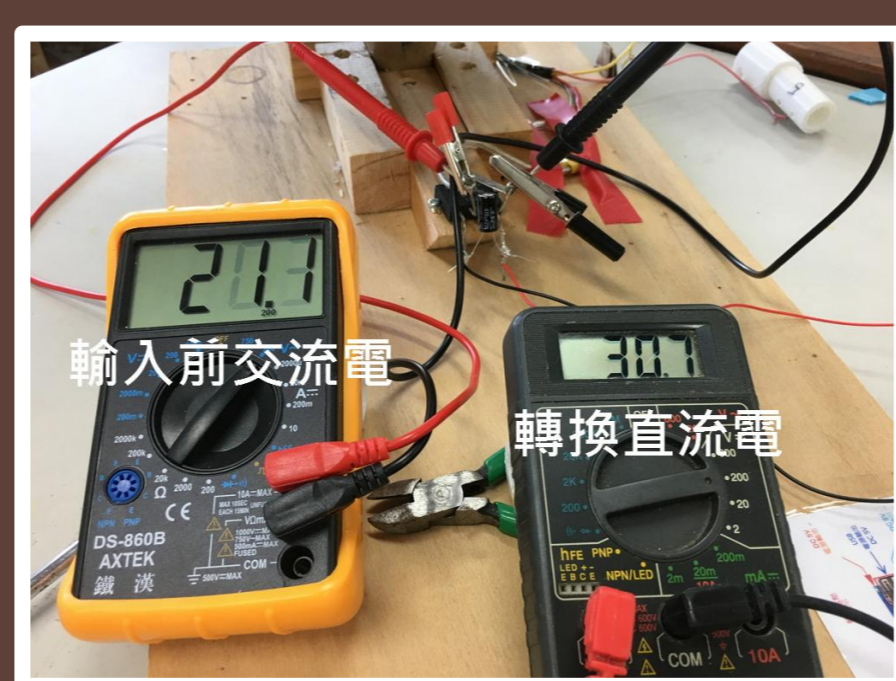
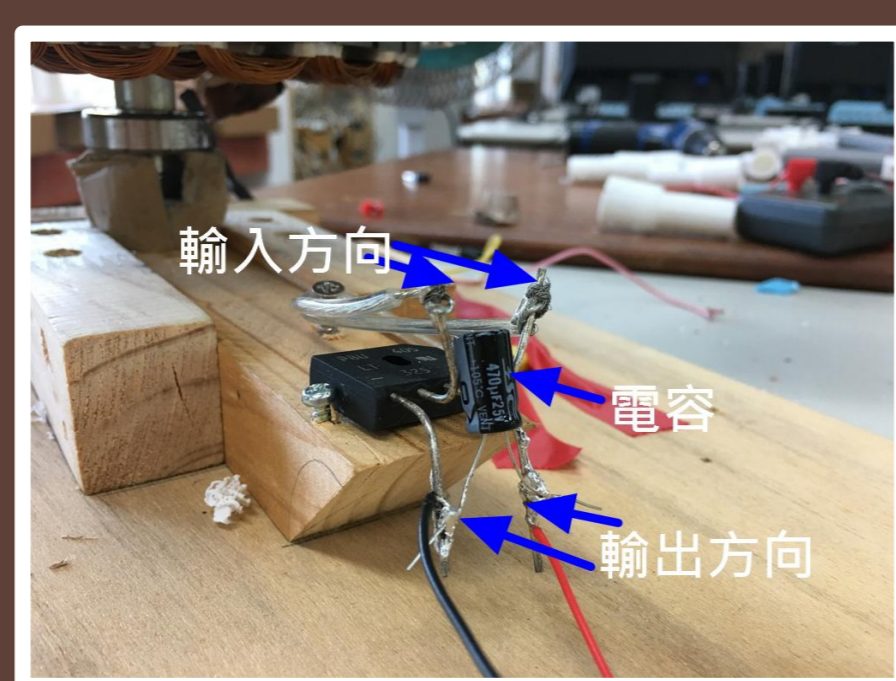
五、扇葉角度大小對垂直軸發電機的影響 2

這次補上的實驗我們改變了旋轉角度，同樣固定扇葉數量、扇葉支架長度、扇葉長度這三個變項，改變上一個實驗風力碰撞扇葉後會受風面角度會加大的缺點，實驗結果 165° 產出的電壓數值約上升了 10% 左右，不過一旦縮減成 160°，數據就開始下滑，所以就不再繼續往下縮減角度實驗。相關完整數據都記錄在右邊 Qrcode 所包含的網址。



垂直軸發電機如何應用在生活中

經過前面的實驗拼湊出最棒的輸出電壓變項組合後，我們將發電機發出來的電力儲存，因應現今生活中最重要的行動裝置小量的供電系統。我們嘗試將垂直軸發電機輸出的交流電轉換成直流電，再用兩組三用電表觀察電壓數值，我們發現經過橋式整流器整流後數值會些微上升。轉換成直流電之後的電壓還需要將有電容加入暫時儲存電力，電容的加入可以讓電壓維持在穩定的數值，不會因為風力暫停就讓電壓急速下降甚至歸零，轉換之後的直流電我們再透過降壓模組讓電壓降低到 5 伏特儲存到行動電源。



討論

一、扇葉數量實驗

與一開始我們預測三葉的結果不同，我們的猜測是根據水平軸風力發電機都是三葉為主，而且三葉的總扇葉數量較少，總重量應該也比較低，所以猜測是數量組中表現最好。實驗結果發現五葉的發電機效果最好，測量出的電壓最高。

可能是因為五葉的發電機扇葉數量其他扇葉的受力間隔時間比較小，因此受風頻率比較多，轉動的速度也比較快，六葉在受風頻率更密集，但是在還沒推動完整前，下一個葉片已經出現，導致產出的電壓微微下降。

我們經由前面的實驗，所以我們將扇葉數量固定為五葉，進行後續支架長度的實驗，以了解支架長度對電壓輸出有沒有影響。實驗前預測支架長度為 30cm 的發電機，因為施力臂較長使受力較大，轉速應該比較快，但從前面的討論發現，受風頻率似乎是影響轉速的關鍵因素之一，根據六年級學過的輪軸原理，如果輪越小，轉動的速度會越快，在同樣扇葉數量的條件下，從 30cm 的支架縮短到 20cm 後，受風頻率變快使得產出的電壓提升，所以我們陸續將支架長度縮短，進行觀察實驗，結果一如預期，20cm 的支架，旋轉的速度最快，輸出電壓最高。但是 10cm 的支架力臂變得太短，雖然受風頻率提昇，但是推動的力道難以讓扇葉旋轉，使得產出的電壓數據遠低於 20cm(20cm 支架:20.4 伏特, 10cm 支架:13.9 伏特)

二、扇葉支架長度

三、扇葉大小實驗

我們原本預測扇葉尺寸越大，受風面積越大，效果越好。結果實驗結果完全出乎我們的意料。經大家共同討論結果發現，可能是因為較寬的葉片，雖然受風面積大，但轉動的過程當中，葉片背面的面積過大，無形中也增加了轉動的阻力，讓速度變慢，加以較長的葉片，重量也較重，對於我們用於實驗的發電機而言，也減緩了轉動的速度。至於較短的葉片，除了重量比較輕之外，氣流的擾動與轉動時的空氣阻力均比較小，所以可以讓轉動的速度變快，也增加了電壓的輸出。但是縮短長度還是有極限存在，縮短到 20cm 產出的電壓數據平均最高，縮短成 10cm 產出的電壓數據就開始下降。

四、扇葉角度實驗

第一次實驗發現 0° 的扇葉比 5°、10°、15°、20° 的扇葉成效還好，結果會如此可能是因為扇葉在受風之後扇葉漸漸向後移動，所以受風面漸漸轉成逆時針的角度，而且會隨時間角度越來越大，直到下一片扇葉再進入受風範圍，所以受風面風力越接近 90° 時，產出的電壓數據越高，但是逆時針角度會隨著時間漸漸增加，導致產出的電壓數據漸漸下滑。

所以第二次實驗，轉了 175°、170°、165°、160° 讓風力和扇葉角度接近 90° 的持續時間增加一些，在轉 165° 的實驗中取得了全部實驗的最佳平均電壓數據 27.36 伏特。

= 結論 =

一、研究結論

經由上述討論，本實驗獲致如下結論：

1. 扇葉的數量為 5 葉時，自製垂直軸發電機的輸出電壓的平均值最高。
2. 扇葉支架長度為 20cm 時，自製垂直軸發電機的輸出電壓的平均值最高。
3. 扇葉大小為 20cm x 20cm 時，自製垂直軸發電機的輸出電壓的平均值最高。
4. 扇葉轉置的角度為 165 度時，自製垂直軸發電機的輸出電壓的平均值最高。
5. 所有的變項皆會交互影響，調節受風頻率、受風角度的最佳組合可以取得自製垂直軸發電機的輸出電壓的最高數值。

二、後續研究建議

其實還有一些研究的方向來不及在這次實驗中完成，像是「扇葉的流線設計」、「扇葉的形狀」等方向，有礙於能力和器材上未能達到水準，尚未能親自實驗。

本研究相關 3D 模具將在比賽後公開在 <https://tinyurl.com/y3tzt4qc>，讓想接續本研究內容繼續前進的科學愛好者，不用再重新創造輪子，打造一組強力的風力發電機。