

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生活與應用科學(一)科

032801

乾淨能源--校園川廊圓盤紙風扇發電的探討

學校名稱：嘉義市立嘉義國民中學

作者： 國二 蘇于瑄 國二 陳昱慈 國二 趙加恩	指導老師： 柯博議
---	------------------

關鍵詞：風力發電、圓盤紙風扇、川廊

摘要

無污染之乾淨能源是未來能源的發展趨勢，校園有較空曠的空間可進行風力發電的實驗，為克服被扇葉打中的恐懼，故利用較輕的圓盤紙風扇，若取得發電效率更好的風力發電機，搭配圓盤紙風扇固定於學校川廊上方空間，不僅可發電利用也可用於教學，甚至可作為裝置藝術。自製風力發電機組最佳狀態是有集中風力的風管穩定發電效率、凸唇朝向迎風面、風速快、扇葉傾斜 90° 、展開 5 片以上葉片及距離出風口越近越好。本研究裝置是利用氣流沿著扇葉快速通過扇面孔洞，導致扇葉兩側壓力差形成一推力，且課本簡單機械中有教到物體要繞支點旋轉需產生足夠力矩，故氣流越快通過扇葉兩側的壓力差越大，能轉換的作用力就越大，產生的轉動力矩也就越大。

壹、研究動機

未來能源的發展都會朝向無污染的乾淨能源，課本中提到風力發電是其中一種，我們就想在校園內進行風力發電的研究探討，不讓校園的太陽能發電專美於前，於是便組隊與指導老師進行研究。

貳、研究目的

- 一、自製的風管是否能有效提供穩定風力
- 二、圓盤紙風扇凸唇的影響
- 三、風速大小的影響
- 四、扇葉傾斜角度的影響
- 五、扇葉展開葉片數的影響
- 六、扇葉與出風口距離對轉速和發電量的影響
- 七、在學校川廊進行圓盤紙風扇發電的可行性探討

參、研究設備及器材

立扇、紙碗、扇葉模板、教學用小型風力發電機、發電機轉軸卡榫、12 吋塑膠栽培盆、智高積木、毫安培計、電子風速計、轉速測量計、導線、電阻、直尺、筆、圓規、美工刀、剪刀、布尺、亮光漆。



工具



轉速測量計



電子風速計



毫安培計

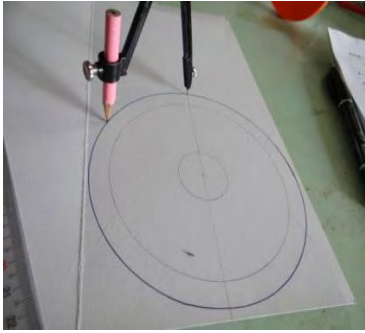
肆、研究過程

一、前置工作

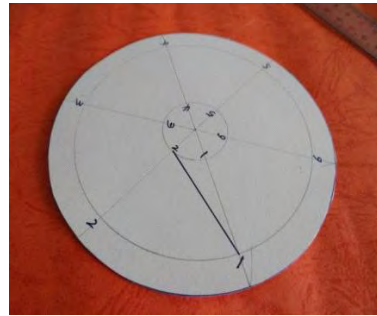
(一)扇葉模版的製作

1. 在 A4 紙上畫一組半徑 1.5 公分、6 公分及 7 公分的同心圓，畫一條直徑穿過 3 個圓後 (照片 1)，在最大圓直徑兩端用圓規以 7 公分 6 等分圓周，在半徑 1.5 公分及 6 公分的圓上與直徑交會處編號 (照片 2)。
2. 利用圓規將所畫的同心圓 6 等分並編號，最內圓編號為 A1~A6，中間圓編號為 B1~B6，依序利用直尺 A1 和 B2 畫直線 (照片 3)，再將頂點連接形成 6 個梯形 (照片 4)。
3. 利用美工刀將梯型區域鏤空，然後沿著外圈圓型線條剪下就是風輪模版 (照片 5)。

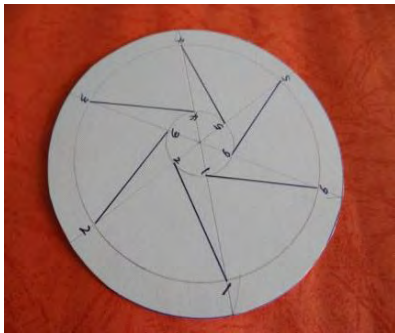
4. 將圓形模版對折再對折，交點就是圓心。



照片 1：畫一組半徑 1.5 公分、6 公分及 7 公分的同心圓



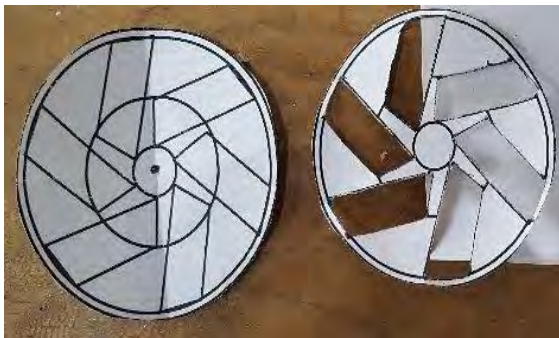
照片 2：在半徑 1.5 公分及 6 公分的圓上與直徑交會處編號



照片 3：依序利用直尺 A1 和 B2 畫直線



照片 4：將頂點連接形成 6 個梯形



照片 5：將 6 個梯形鏤空就形成模板



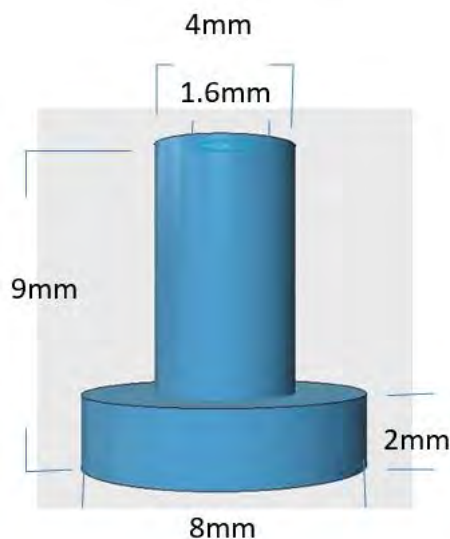
照片 6：將模板套入剪好的紙碗底描繪扇葉

5. 圓盤紙風扇製作

- (1) 取 9 個紙杯碗利用剪刀將碗底部分剪裁下來備用。
- (2) 將找到圓心的紙張放入碗底鋪平，然後利用圓規尖端由圓心處刺入紙碗，即為碗底圓心。
- (3) 模版置於碗底並對齊圓心，用筆描繪 6 個鏤空梯形的位置(照片 6)。
- (4) 將描繪好的梯形利用美工刀延邊線切開，留下最短的底邊做為翻轉的連接處，利用圓規尖由圓心處刺入，刺穿圓心以利嵌入發電機轉軸卡榫。

6. 發電機轉軸卡榫的製作

利用 3D 列印機列印發電機轉軸卡榫軸徑 4mm、中空內管管徑 1.6mm、底座半徑 8mm、底座厚度 2mm、高度 9mm(如照片 7)。發電機轉軸卡榫用來連結發電機轉軸與圓盤紙風扇，以利帶動發電機運轉。



照片 7：3D 列印機列印發電機轉軸卡榫比例

7. 風管製作

將 12 吋塑膠栽培盆盆底切除，底座開口朝向發電機圓盤紙風扇，另一端開口朝向電風扇。

8. 風管固定架

利用智高積木的固定底座、長方框和正方框組合成風管固定架。

9. 電路組合

取 2 個 500 歐姆的電阻線先並聯，再利用鱷魚夾導線串聯接發電機與毫安培計。



照片 8-1：完整的組合裝置(側視)



照片 8-2：完整的組合裝置(正視)



照片 9：風力發電系統

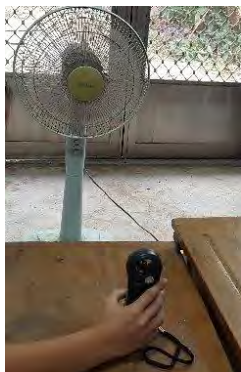
二、自製的風管是否能有效提供穩定風力

(一)控制變因：同一部立扇、電子風速計距離立扇 110 cm。

(二)對照組：將電子風速計固定在距離立扇 110 cm 處，先打開立扇最小風速，吹 1 分鐘後關掉立扇電源，記錄電子風速計上數值(如照片 10)。重複開和關 12 次，紀錄的數值去除最大值和最小值留下 10 次數值，並利用 Excel 求平均值和絕對平均差的平均值。依步驟改用中間風力和最強風力測試。

(三)實驗組：將自製風管固定在固定架上，擺放在離風扇距離 1 公尺、圓盤紙風扇離風管出風口 10cm 處，先打開立扇最小風速，吹 1 分鐘後關掉立扇電源，記錄電子風速計上數值。重複開和關 12 次，紀錄的數值去除最大值和最小值留下 10 次數值，並利用 Excel 求平均值和絕對平均差的平均值。依步驟改用中間風力和最強風力測試。

(四)比較對照組和實驗組的操縱變因找出適合的風力大小和有效提供穩定風力的方式作為後續實驗之用。



照片 10：電風扇的風速測定



照片 11：發電風扇轉速測定

三、圓盤紙風扇的凸唇影響

(一)控制變因：風管固定架離風扇距離 1 公尺、圓盤紙風扇離風管出風口 10cm、電風扇風速最大。

(二)取 2 個扇葉夾角 90° 、展開 6 片扇葉的圓盤紙風扇，扇葉都朝向風力來源展開，凸唇朝外面向風力來源固定於發電機的轉軸上(如照片 12)，串聯電路組合與毫安培計 50 毫安的接頭上，紀錄轉動 1 分鐘內最大電流量，重複開和關 12 次，紀錄的數值去除最大值和最小值留下 10 次數值，並利用 Excel 求平均值。

(三)改裝凸唇朝內的圓盤紙風扇(如照片 13)，串聯電路組合與毫安培計 50 毫安的接頭上，紀錄轉動 1 分鐘內最大電流量，重複開和關 12 次，紀錄的數值去除最大值和最小值留下 10 次數值，並利用 Excel 求平均值。

(四)比較凸唇有無對發電電流量的差異性。



照片 12：凸唇朝外的圓盤紙風扇



照片 13：凸唇朝內的圓盤紙風扇

四、風速大小的影響

(一)控制變因：風管固定架離風扇距離 1 公尺、圓盤紙風扇離風管出風口 10cm、圓盤紙風扇的凸唇朝外、展開 6 片扇葉、電路組合利用鱷魚夾導線串聯接發電機與毫安培 50 毫安的接頭。

(二)先按下電風扇最小風速按鈕，紀錄轉動 1 分鐘內最大電流量，重複開和關 12 次，紀錄的數值去除最大值和最小值留下 10 次數值，並利用 Excel 求平均值。

(三)依序改用中段風速和最大風速，紀錄轉動 1 分鐘內最大電流量，重複開和關 12 次，紀錄的數值去除最大值和最小值留下 10 次數值，並利用 Excel 求平均值。

(四)比較不同風速下發電電流量的差異性。

五、扇葉傾斜角度的影響

(一)控制變因：風管固定架離風扇距離 1 公尺、圓盤紙風扇離風管出風口 10cm、電風扇風速最大、圓盤紙風扇的凸唇朝外、展開 6 片扇葉、電路組合利用鱷魚夾導線串聯接發電機與毫安培 50 毫安的接頭。

(二)將圓盤紙風扇扇葉 6 個利用量角器將 6 片扇葉折成 0° 、 30° 、 60° 、 90° 、 120° 、 150° ，噴亮光漆固定角度。

(三)先將 0° 扇葉的圓盤紙風扇固定好後，按下電風扇最大風速按鈕，紀錄轉動 1 分鐘內最大電流量，重複開和關 12 次，紀錄的數值去除最大值和最小值留下 10 次數值，並利

用 Excel 求平均值。

(四)依序改用 30° 、 60° 、 90° 、 120° 、 150° 扇葉的圓盤紙風扇測試，紀錄轉動 1 分鐘內最大電流量，重複開和關 12 次，紀錄的數值去除最大值和最小值留下 10 次數值，並利用 Excel 求平均值。

(五)比較不同角度對扇葉發電電流量的差異性。

六、扇葉展開葉片數的影響

(一)控制變因：風管固定架離風扇距離 1 公尺、圓盤紙風扇離風管出風口 10cm、電風扇風速最大、圓盤紙風扇的凸唇朝外、扇葉夾角 90° 、電路組合利用鱷魚夾導線串聯接發電機與毫安培 50 毫安的接頭。

(二)先取掀起 1 片扇葉的圓盤紙風扇固定好後，按下電風扇最大風速按鈕，紀錄轉動 1 分鐘內最大電流量，重複開和關 12 次，紀錄的數值去除最大值和最小值留下 10 次數值，並利用 Excel 求平均值。

(三)改用掀起對稱 2 片、3 片、4 片及 6 片扇葉的圓盤紙風扇測試，紀錄轉動 1 分鐘內最大電流量，重複開和關 12 次，紀錄的數值去除最大值和最小值留下 10 次數值，並利用 Excel 求平均值(如照片 14-1、14-2)。

(四)再用掀起不對稱 2 片、3 片、4 片及 5 片扇葉的圓盤紙風扇測試，紀錄轉動 1 分鐘內最大電流量，重複開和關 12 次，紀錄的數值去除最大值和最小值留下 10 次數值，並利用 Excel 求平均值。

(五)比較不同扇葉數對發電電流量的差異性。



照片 14-1：畫好的紙碗風扇



照片 14-2：利用量角器及鐵尺掀起扇葉角度

七、扇葉與出風口距離對轉速和發電量的影響

(一)控制變因：風管固定架離風扇距離 1 公尺、電風扇風速最大、圓盤紙風扇的凸唇朝外、扇葉夾角 90° 、展開 6 片扇葉、電路組合利用鱷魚夾導線串聯接發電機與毫安培 50 毫安的接頭。

(二)依序將圓盤紙風扇固定在距離風管出風口 10cm、20cm、30cm 處，按下電風扇最大風速按鈕，紀錄轉動 1 分鐘內最大電流量，重複開和關 12 次，紀錄的數值去除最大值和最小值留下 10 次數值，並利用 Excel 求平均值。

(三)比較圓盤紙風扇距離風管出風口不同距離時對發電電流量的差異性。

八、在學校川廊進行圓盤紙風扇發電的可行性探討

(一)控制變因：圓盤紙風扇的凸唇朝外、扇葉夾角 90° 、展開 6 片扇葉、電路組合利用鱷魚夾導線串聯接發電機與毫安培 50 毫安的接頭。

(二)選擇在校內東西向走廊及川廊待教室有風吹入的中午便利用風速計測量當時風速轉動 1 分鐘內最大電流量，重複 12 次，紀錄的數值去除最大值和最小值留下 10 次數值，並利用 Excel 求平均值(如照片 15)。

(三)在校內選擇走廊及川廊進行發電電流量測試，待教室有風吹入的中午便進行測試，紀錄轉動 1 分鐘內最大電流量，重複 12 次，紀錄的數值去除最大值和最小值留下 10 次數值，並利用 Excel 求平均值(如照片 16、17)。

(四)比較校園內不同地點風速及發電電流量的差異性。



照片 15：測量川廊風速



照片 16：學校南北向川廊



照片 17：學校東西向走廊

伍、研究結果與討論

一、自製的風管是否能有效提供穩定風力

- (一)根據圖 1 的結果發現不管風速的大小沒有使用風管所測得的平均風速均大於有使用自製風管。
- (二)但是由表 1 結果發現所測得的平均風速絕對平均差平均值有使用自製風管均小於沒有使用風管。
- (三)由於使用自製風管會限制風力範圍所以風速計所測得的平均風速沒有使用風管均大於有使用自製風管。但是使用自製風管限制出風方向所測得的平均風速絕對平均差平均值較小也代表風力較集中產生的誤差平均值較小。
- (四)所有測量重複 12 次，紀錄的數值去除最大值和最小值留下 10 次數值求平均值目的在於將研究的誤差降低。

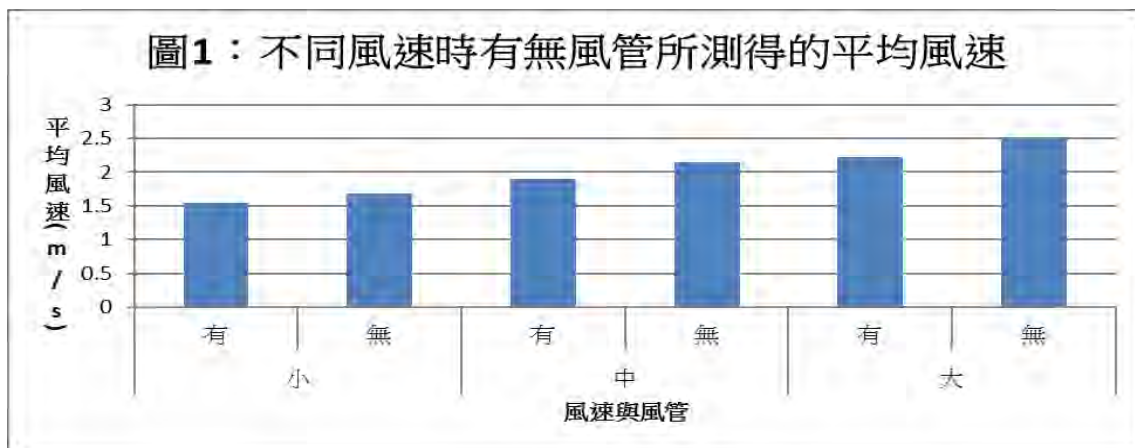


表 1：不同風速時風管有無所測得的平均風速(m/sec)絕對平均差平均值

風扇風速	風管有無	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	絕對平均差平均值
小	有	1.6	1.4	1.5	1.3	1.6	1.7	1.6	1.5	1.6	1.5	1.5	1.6	1.54
	無	1.8	1.7	1.6	1.7	1.7	1.6	1.7	1.9	1.8	1.5	1.6	1.6	1.68
中	有	2.3	1.9	1.9	1.3	1.9	1.9	2	1.9	2	1.9	1.8	1.8	1.9
	無	2.4	2.1	2.1	2.2	2.2	2	2.2	2.3	2.3	2	2	2	2.14
大	有	2.1	2.4	1.9	2.2	2.1	2.3	2.2	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.23
	無	2.9	2.6	2.5	2.7	2.4	2.4	2.5	2.3	2.4	2.2	2.3	2.7	2.48

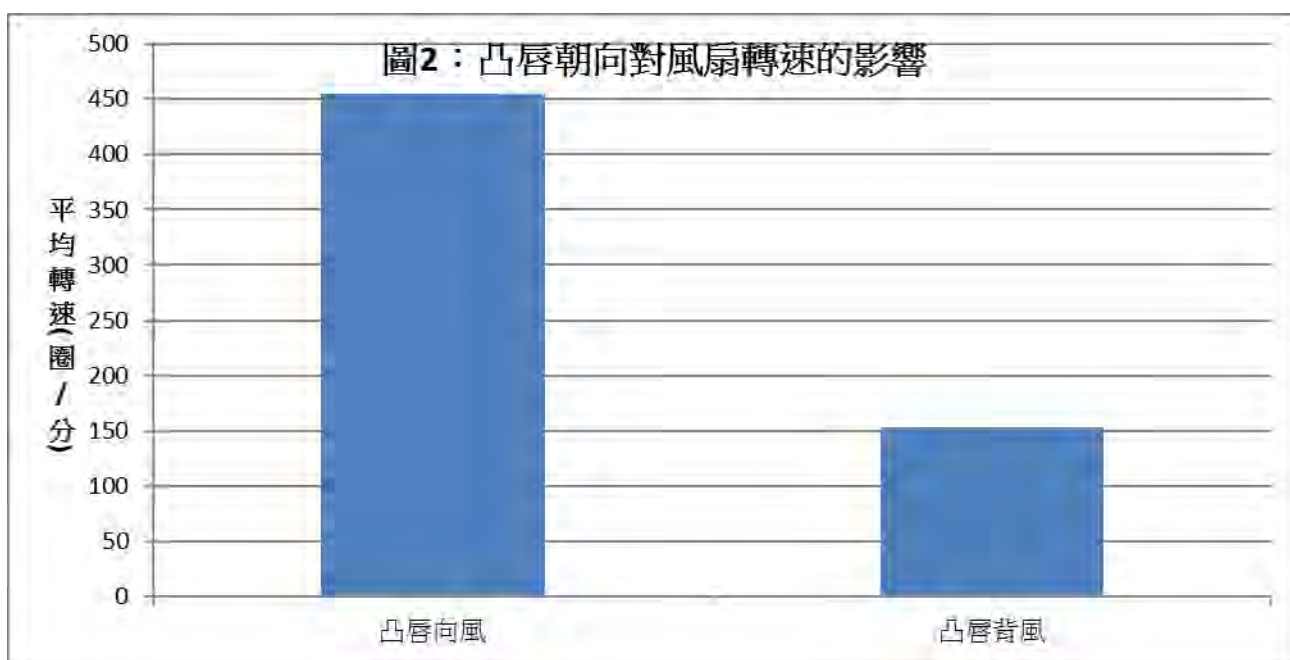
※塗黑數值為去除的最大值和最小值

二、圓盤紙風扇的凸唇的影響

(一)由於圓盤紙風扇是將紙碗碗底裁切下來所製作而成，所以一面會形成凸唇，由圖 2 結果發現凸唇朝向迎風面所測得的平均轉速大於凸唇朝向背風面。

(二)由於迎面風力撞擊圓盤紙風扇時部分風力會被導引穿過圓盤紙風扇，部分風力則被風扇底面導引而發散，凸唇朝向迎風面時凸唇會阻擋部分發散的風力導致會擋風力的加強作用所以所測得的平均轉速較大。

(三)經討論結果因為氣流沿著扇葉快速通過扇面孔洞，導致扇葉兩側壓力差形成一股推力；公式為壓力差=作用力/面積，而且課本簡單機械中有教到物體要繞支點旋轉需產生足夠的力矩，而力矩=作用力 x 力臂，所以氣流越快通過扇葉兩側的壓力差越大，能夠轉換的作用力越大，所產生的轉動力矩也就越大。



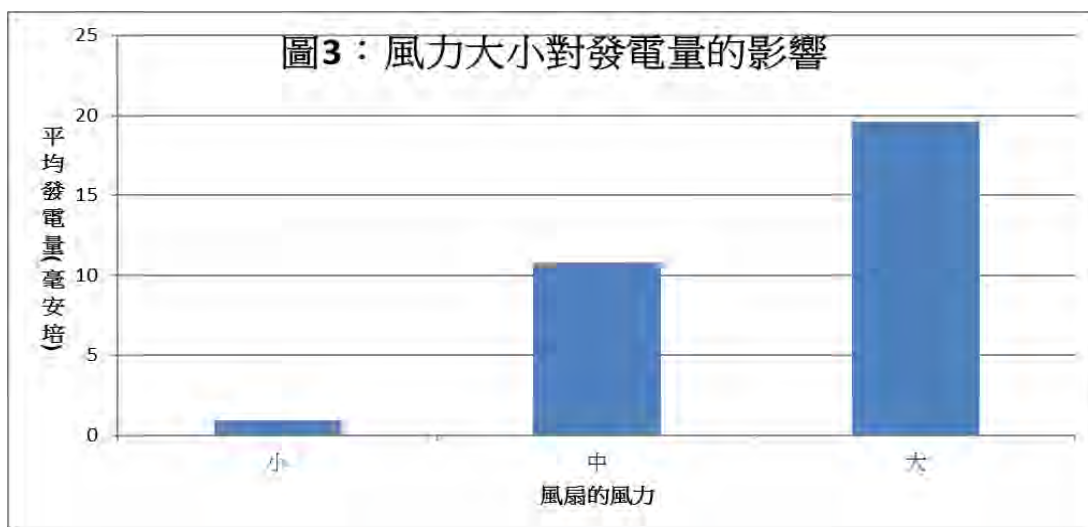
三、風速大小的影響

(一)電風扇具備 3 種不同等級的風力，由圖 3 結果可以知道風力越大圓盤紙風扇轉動發電的平均電流越大。

(二)電風扇送出的風力越強代表所攜帶的能量越大，這些能量促使圓盤紙風扇快速轉動，根據課本所提到的法拉第電磁感應定律「發電機轉軸轉速越快，磁場變化量越大，所感應出的電流量越大」。所以圓盤紙風扇轉動越快發電量越大。

(三)由於不能直接利用鱷魚夾導線串聯接發電機與毫安培計，所以我們先取 1 個 500 歐姆

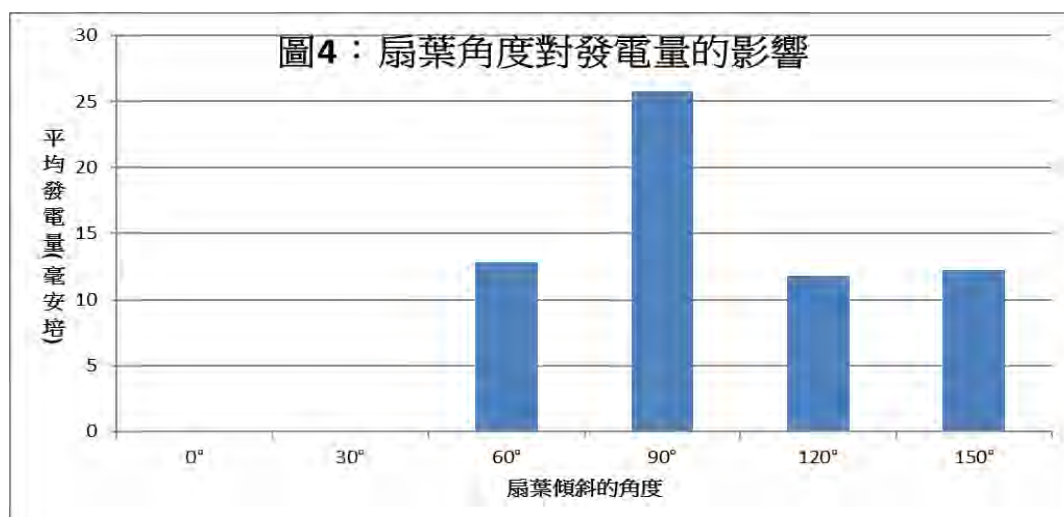
的電阻線串聯時所測得的電流非常小，於是改取 2 個 500 歐姆的電阻線並聯後再串聯到電路上，此時總電阻就降為 250 歐姆。



四、扇葉傾斜角度的影響

(一)扇葉傾斜角度不同圓盤紙風扇轉動發電產生的平均電流也不同，由圖 4 扇葉傾斜 0° 、 30° 和 180° 無法產生有效的轉動力矩；角度 90° 時產生的電流最大，傾斜角度 60° 、 120° 和 150° 時所產的平均電流差異不大。夾角 180° 代表無扇葉存在。

(二)我們推測扇葉傾斜角度 0° 和 30° 時會擋住氣流通過的孔洞，無法產生有效的轉動力矩，夾角 90° 時與作用力的垂直力臂最大，傾斜角度 60° 、 120° 和 150° 時所產的垂直力臂較小，因此夾角 90° 時產生的力矩和最大轉動就越容易，產生的電流就越大。



五、扇葉展開葉片數的影響

(一)由表 2 結果發現只有展開扇葉 5 片及 6 片時才能轉動風扇，只展開 1 片至 4 片扇葉時幾乎不會轉動，扇葉數量多時愈容易轉動。

(二)由於發電機內部轉動摩擦力會阻止發電機的轉動，所以扇葉數多且大家傾斜方向都相同，所產生的同方向轉動的力矩和就愈大，克服發電機的轉動阻力就能夠容易轉動。

(三)由於圓盤紙風扇為圓形裝置是利用圓規畫模板，所以圓周 6 等分最容易操作。

(四)扇葉數展開越多總力臂長度越大。

表 2：圓盤紙風扇扇葉展開的葉片數量與產生的最大電流(毫安培)

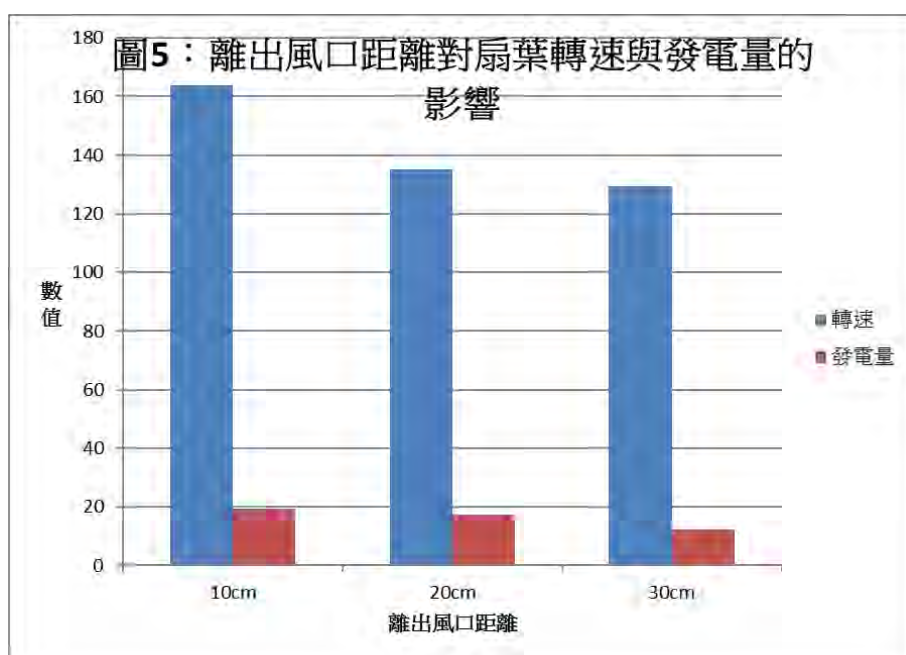
扇葉狀態	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均
不對稱扇葉 1 片	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
不對稱扇葉 2 片	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
不對稱扇葉 3 片	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
不對稱扇葉 4 片	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
不對稱扇葉 5 片	16	14	11	14	14	14	15	14	16	14	13	14	14.2
對稱扇葉 2 片	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
對稱扇葉 3 片	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
對稱扇葉 4 片	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
對稱扇葉 6 片	26	25	24	29	23	25	29	27	27	26	25	24	25.8

※塗黑數值為去除的最大值和最小值

六、扇葉與出風口距離對轉速與發電量的影響

(一)根據圖 5 結果距離自製風管出風口越近圓盤紙風扇轉速越快，所產生的電流越大。

(二)氣流的流動會有能量的攜帶，流動經過的距離越遠所耗損的能量越多轉移給圓盤紙風扇的能量越少，轉速就會變慢所產生的電流就變小。



七、在學校川廊進行圓盤紙風扇發電的可行性探討

(一)校園是我們學習的場域，由於嘉義地區較容易有西南風侵襲，東西向的走廊和川廊是學校常有氣流流動的地方，根據圖 6 結果發現校園川廊平均產生的電流達到 4.1 毫安培較走廊效果好。

(二)學校南北向川廊穿越大樓且是挑高建築，走廊較像風管，根據風管定理「氣體沿著大樓等障礙物流動時，遇到可以穿越的空間會有流動加速的現象」，由表 3 結果利用風速計測量風速時確實也有這種現象。

(三)利用一般扇葉轉動雖然容易取得材料組合，但是在人來人往的地方頭頂有轉動的扇葉給行人的壓力頗大，害怕扇葉會不會掉下來。利用圓盤紙風扇重量輕加上外圍有凸唇圍住扇葉，比較不會有被扇葉打中的恐懼。

(四)本次使用的是教學用發電機若能取得發電效率更好的風力發電機，搭配圓盤紙風扇固定於學校川廊上方空間，不僅可以發電利用也可用於教學，甚至可做為裝置藝術。

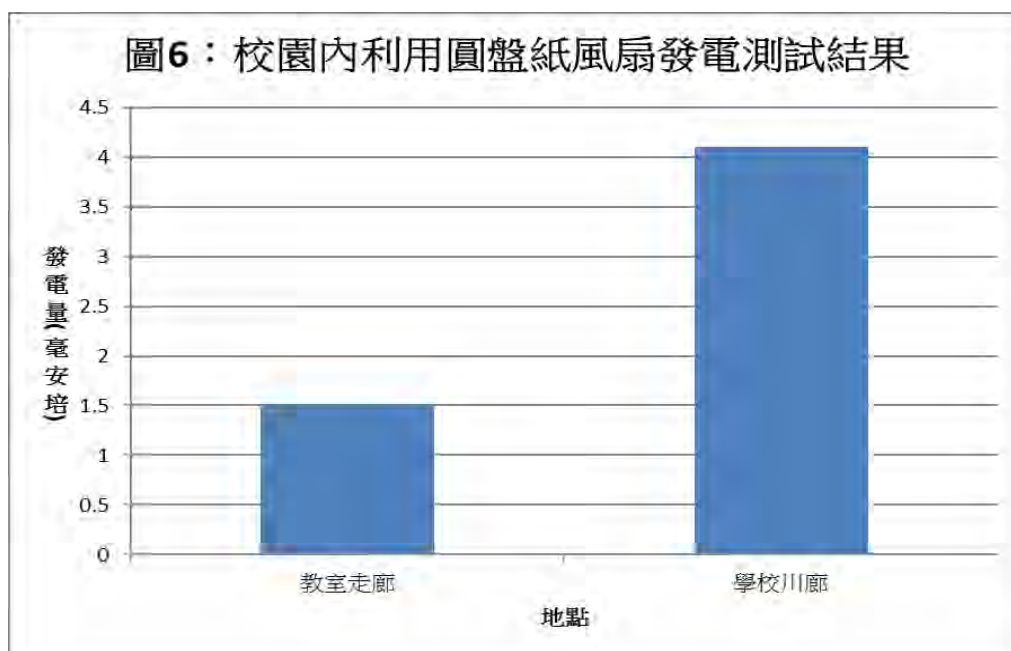


表 3：學校南北向川廊及教室走廊風速計所測得風速(m/s)

次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均
教室走廊	0.7	0.4	0.5	0.1	0.2	0.3	0.5	0.2	0.3	0.6	0.7	0.6	0.43
學校川廊	0.7	0.6	0.4	0.3	0.3	1.1	0.7	0.7	0.7	1.2	2.1	2.7	0.85

陸、結論

- 一、校園具有較空曠的空間可以進行風力發電的實驗，為了克服被扇葉打中的恐懼，我們想到利用重量較輕打到也比較不會痛的圓盤紙風扇。
- 二、自製的風力發電機組會受到風管、凸唇朝向、風速、扇葉傾斜角度、扇葉展開的葉片數與出風口距離的影響，最好的狀態是有集中風力的風管穩定發電效率、凸唇朝向迎風面、風速要快、扇葉傾斜角度 90° 、扇葉展開至少 5 片以上葉片以及距離出風口越近越好。
- 三、本次研究裝置是利用氣流沿著扇葉快速通過扇面孔洞，導致扇葉兩側壓力差形成一股推力；公式為壓力差=作用力/面積，而且課本簡單機械中有教到物體要繞支點旋轉需產生足夠的力矩，而力矩=作用力*力臂，所以氣流越快通過扇葉兩側的壓力差越大，能夠轉換的作用力越大產生的轉動力矩也就越大。
- 四、學校最容易形成風管效應的地點就是南北向的走廊和川廊，川廊挑高空間較大是適合裝置圓盤紙風扇發電機的地點。

柒、參考資料

- 一、南一書局。2017。國中自然第 5 冊第 3 章功與機械應用。出版地：台南市。
- 二、南一書局。2017。國中自然第 6 冊第 1 章電與磁。出版地：台南市。
- 三、維基百科。2018/01/03。風能。<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%A2%A8%E8%83%BD>
- 四、牛山泉。2010。圖解風力發電入門。臺北縣：世茂。
- 五、張希良(主編)。2007。風力發電技術。臺北縣：新文京開發。

【評語】 032801

1. 該作品以簡易型自製風力發電裝置，主要以同樣導風管之設計，針對調整葉片傾斜角度以及葉片數目做為控制變因，討論葉扇面孔洞導管對轉動力矩的貢獻。
2. 作品中發電效率常被提及，建議可有較明確定義，如此可以在後續的討論及成果表達上面有更貼切的描述。
3. 此外不同大小的風扇實驗研究的結果有不同的尺寸效應 (Scaling)，對於實驗模型與真實世界的模型之間的對應，不是直觀的線性關係，未來可以深入討論。

壹 研究動機

未來能源的發展都會朝向無污染的乾淨能源，課本中提到風力發電是其中一種，我們就想在校園內進行風力發電的研究探討，不讓校園的太陽能發電專美於前，於是便組隊與指導老師進行研究。

貳 研究目的

- 一、自製的風管是否能有效提供穩定風力
- 二、圓盤紙風扇凸唇的影響
- 三、風速大小的影響
- 四、扇葉傾斜角度的影響
- 五、扇葉展開葉片數的影響
- 六、扇葉與出風口距離對轉速和發電量的影響
- 七、在學校川廊進行圓盤紙風扇發電的可行性探討

參 研究設備及器材

立扇、紙碗、扇葉模板、教學用小型風力發電機、發電機轉軸卡榫、12吋塑膠栽培盆、智高積木、毫安培計、電子風速計、轉速測量計、導線、電阻、直尺、筆、圓規、美工刀、剪刀、布尺、亮光漆。

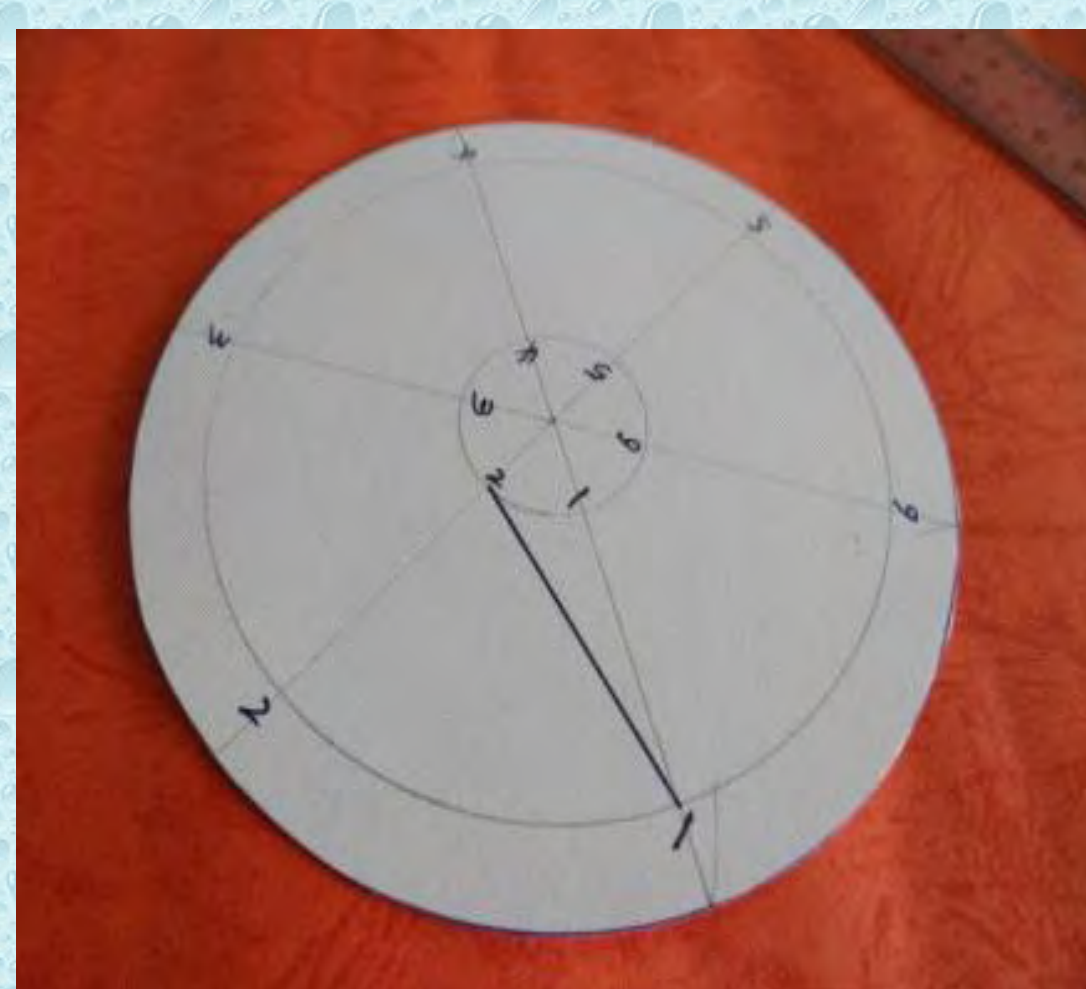
肆 研究過程或方法

一、前置工作

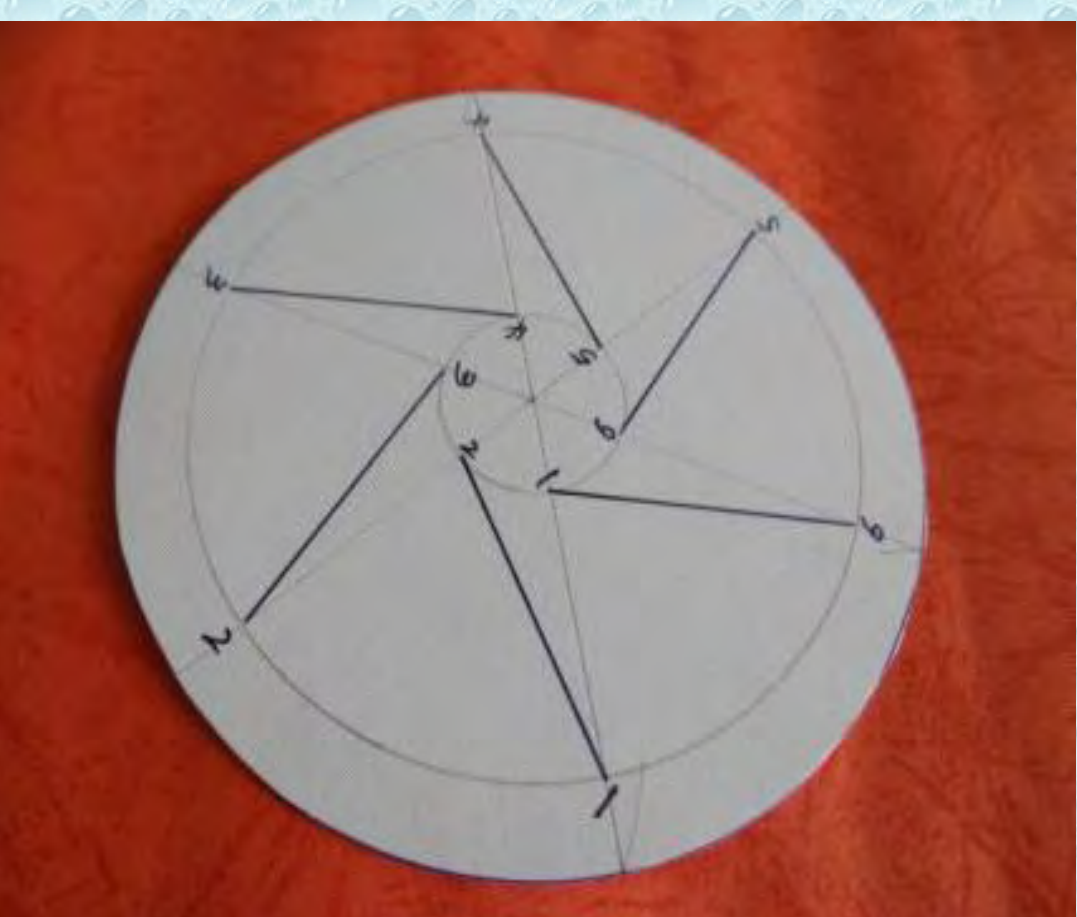
(一) 扇葉模板的製作



照片1：
畫一組直徑1.5公分、6公分及7公分的同心圓



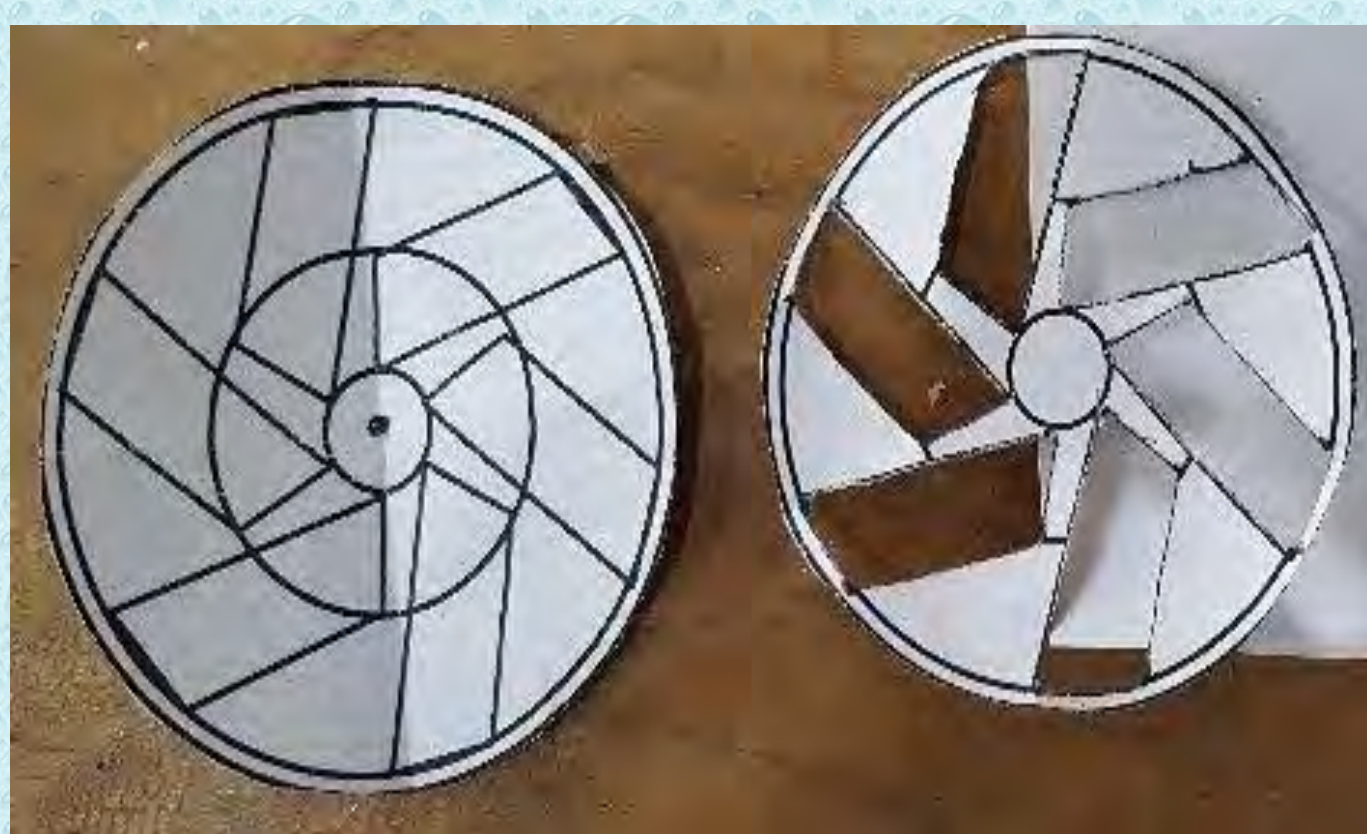
照片2：
在直徑1.5公分及6公分的圓上與直徑交會處編號



照片3：
依序利用直尺A1和B2畫直線



照片4：
將頂點連接形成6個梯形



照片5：
將6個梯形鏤空就形成模板

(二) 圓盤紙風扇製作

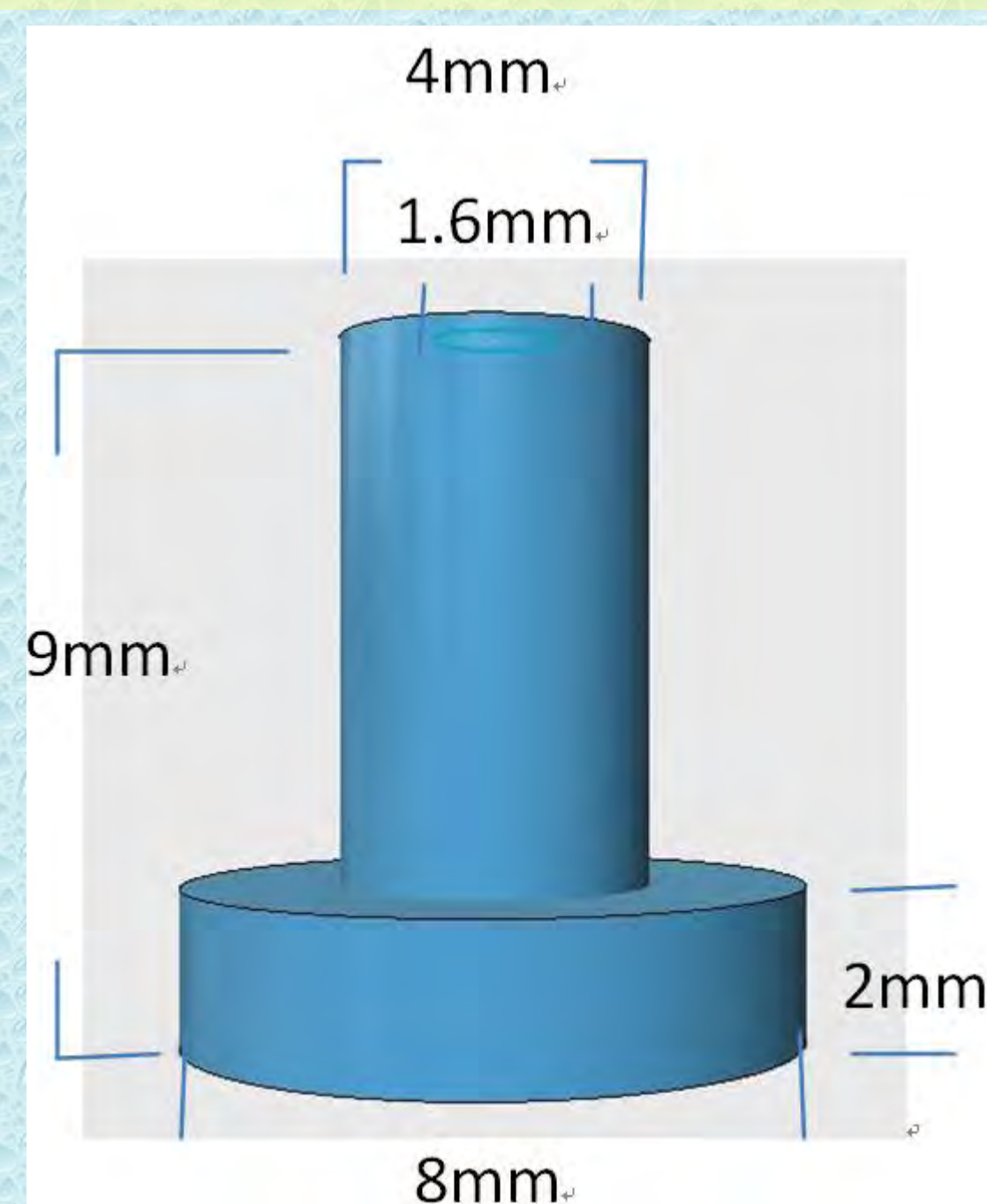
將描繪好的梯形利用美工刀延邊線切開，留下最短的底邊做為翻轉的連接處，利用圓規尖由圓心處刺入，刺穿圓心以利嵌入發電機轉軸卡榫。



照片6：
將模板套入剪好的紙碗底描繪扇葉

(三) 發電機轉軸卡榫的製作

利用3D列印機列印發電機轉軸卡榫軸徑4mm、中空內管管徑1.6mm、底座半徑8mm、底座厚度2mm、高度9mm(如下圖)。發電機轉軸卡榫用來連結發電機轉軸與圓盤紙風扇，以利帶動發電機運轉。



(四) 風管製作與電路組合



照片7：
完整的組合裝置(側視)



照片8：
完整的組合裝置(正視)

二、自製的風管是否能有效提供穩定風力

(一) 控制變因：同一部立扇、電子風速計距離立扇110cm。

(二) 對照組：將電子風速計固定在距離立扇110cm處，先打開立扇最小風速，吹1分鐘後關掉立扇電源，記錄電子風速計上數值。重複開和關12次，紀錄的數值去除最大值和最小值留下10次數值，並利用Excel求平均值和絕對平均差的平均值。依步驟改用中間風力和最強風力測試(照片9)。

(三) 實驗組：將自製風管固定在固定架上，擺放在離風扇距離1公尺、圓盤紙風扇離風管出風口10cm處，先打開立扇最小風速，吹1分鐘後關掉立扇電源，記錄電子風速計上數值。重複開和關12次，紀錄的數值去除最大值和最小值留下10次數值，並利用Excel求平均值和絕對平均差的平均值。依步驟改用中間風力和最強風力測試(照片10)。

(四) 比較對照組和實驗組的操縱變因找出適合的風力大小和有效提供穩定風力的方式作為後續實驗之用。



照片9：
電風扇的風速測定



照片10：
發電風扇轉速測定

三、圓盤紙風扇的凸唇影響

(一) 控制變因：風管固定架離風扇距離1公尺、圓盤紙風扇離風管出風口10cm、電風扇風速最大。

(二) 取2個扇葉夾角90°、展開6片扇葉的圓盤紙風扇，扇葉都朝向風力來源展開，凸唇朝外面向風力來源固定於發電機的轉軸上(如照片11)，串聯電路組合與毫安培計50毫安的接頭上，紀錄轉動1分鐘內最大電流量，

重複開和關12次，紀錄的數值去除最大值和最小值留下10次數值，並利用Excel求平均值。

- (三)改裝凸唇朝內的圓盤紙風扇(照片12)，串聯電路組合與毫安培計50毫安的接頭上，紀錄轉動1分鐘內最大電流量，重複開和關12次，紀錄的數值去除最大值和最小值留下10次數值，並利用Excel求平均值。
- (四)比較凸唇有無對發電電流量的差異性。



照片11：
凸唇朝外的圓盤紙風扇



照片12：
凸唇朝內的圓盤紙風扇

四、風速大小的影響

- (一)控制變因：風管固定架離風扇距離1公尺、圓盤紙風扇離風管出風口10cm、圓盤紙風扇的凸唇朝外、展開6片扇葉、電路組合利用鱷魚夾導線串聯接發電機與毫安培50毫安的接頭。
- (二)先按下電風扇最小風速按鈕，紀錄轉動1分鐘內最大電流量，重複開和關12次，紀錄的數值去除最大值和最小值留下10次數值，並利用Excel求平均值。
- (三)依序改用中段風速和最大風速，紀錄轉動1分鐘內最大電流量，重複開和關12次，紀錄的數值去除最大值和最小值留下10次數值，並利用Excel求平均值。
- (四)比較不同風速下發電電流量的差異性。

五、扇葉傾斜角度的影響

- (一)控制變因：風管固定架離風扇距離1公尺、圓盤紙風扇離風管出風口10cm、電風扇風速最大、圓盤紙風扇的凸唇朝外、展開6片扇葉、電路組合利用鱷魚夾導線串聯接發電機與毫安培50毫安的接頭。
- (二)將圓盤紙風扇扇葉6個利用量角器將6片扇葉折成 0° 、 30° 、 60° 、 90° 、 120° 、 150° ，噴亮光漆固定角度(照片13、14)。
- (三)先將 0° 扇葉的圓盤紙風扇固定好後，按下電風扇最大風速按鈕，紀錄轉動1分鐘內最大電流量，重複開和關12次，紀錄的數值去除最大值和最小值留下10次數值，並利用Excel求平均值。
- (四)依序改用 30° 、 60° 、 90° 、 120° 、 150° 扇葉的圓盤紙風扇測試，紀錄轉動1分鐘內最大電流量，重複開和關12次，紀錄的數值去除最大值和最小值留下10次數值，並利用Excel求平均值。
- (五)比較不同角度對扇葉發電電流量的差異性。



照片13：
畫好的紙碗風扇



照片14：
利用量角器及鐵尺掀起扇葉角度

六、扇葉展開葉片數的影響

- (一)控制變因：風管固定架離風扇距離1公尺、圓盤紙風扇離風管出風口10cm、電風扇風速最大、圓盤紙風扇的凸唇朝外、扇葉夾角 90° 、電路組合利用鱷魚夾導線串聯接發電機與毫安培50毫安的接頭。
- (二)先取掀起1片扇葉的圓盤紙風扇固定好後，按下電風扇最大風速按鈕，紀錄轉動1分鐘內最大電流量，重複開和關12次，紀錄的數值去除最大值和最小值留下10次數值，並利用Excel求平均值。
- (三)改用掀起對稱2片、3片、4片及6片扇葉的圓盤紙風扇測試，紀錄轉動1分鐘內最大電流量，重複開和關12次，紀錄的數值去除最大值和最小值留下10次數值，並利用Excel求平均值。
- (四)再用掀起不對稱2片、3片、4片及5片扇葉的圓盤紙風扇測試，紀錄轉動1分鐘內最大電流量，重複開和關12次，紀錄的數值去除最大值和最小值留下10次數值，並利用Excel求平均值。
- (五)比較不同扇葉數對發電電流量的差異性。

七、扇葉與出風口距離對轉速和發電量的影響

- (一)控制變因：風管固定架離風扇距離1公尺、電風扇風速最大、圓盤紙風扇的凸唇朝外、扇葉夾角 90° 、展開6片扇葉、電路組合利用鱷魚夾導線串聯接發電機與毫安培50毫安的接頭。
- (二)依序將圓盤紙風扇固定在距離風管出風口10cm、20cm、30cm處，按下電風扇最大風速按鈕，紀錄轉動1分鐘內最大電流量，重複開和關12次，紀錄的數值去除最大值和最小值留下10次數值，並利用Excel求平均值。
- (三)比較圓盤紙風扇距離風管出風口不同距離時對發電電流量的差異性。

八、在學校川廊進行圓盤紙風扇發電的可行性探討

- (一)控制變因：圓盤紙風扇的凸唇朝外、扇葉夾角 90° 、展開6片扇葉、電路組合利用鱷魚夾導線串聯接發電機與毫安培50毫安的接頭。
- (二)選擇在校內東西向走廊及川廊待教室有風吹入的中午便利用風速計測量當時風速轉動1分鐘內最大電流量，重複12次，紀錄的數值去除最大值和最小值留下10次數值，並利用Excel求平均值。
- (三)在校內選擇走廊及川廊進行發電電流量測試，待教室有風吹入的中午便進行測試，紀錄轉動1分鐘內最大電流量，重複12次，紀錄的數值去除最大值和最小值留下10次數值，並利用Excel求平均值(如照片15、16)。
- (四)比較校園內不同地點風速及發電電流量的差異性。



照片15：
學校南北向川廊



照片16：
學校東西向走廊

伍 研究結果與討論

一、自製的風管是否能有效提供穩定風力

- (一)根據圖1的結果發現不管風速的大小沒有使用風管所測得的平均風速均大於有使用自製風管。
- (二)但是由表1結果發現所測得的平均風速絕對平均差平均值有使用自製風管均小於沒有使用風管。
- (三)由於使用自製風管會限制風力範圍所以風速計所測得的平均風速沒有使用風管均大於有使用自製風管。但是使用自製風管限制出風方向所測得的平均風速絕對平均差平均值較小也代表風力較集中產生的誤差平均值較小。
- (四)所有測量重複12次，紀錄的數值去除最大值和最小值留下10次數值求平均值目的在於將研究的誤差降低。

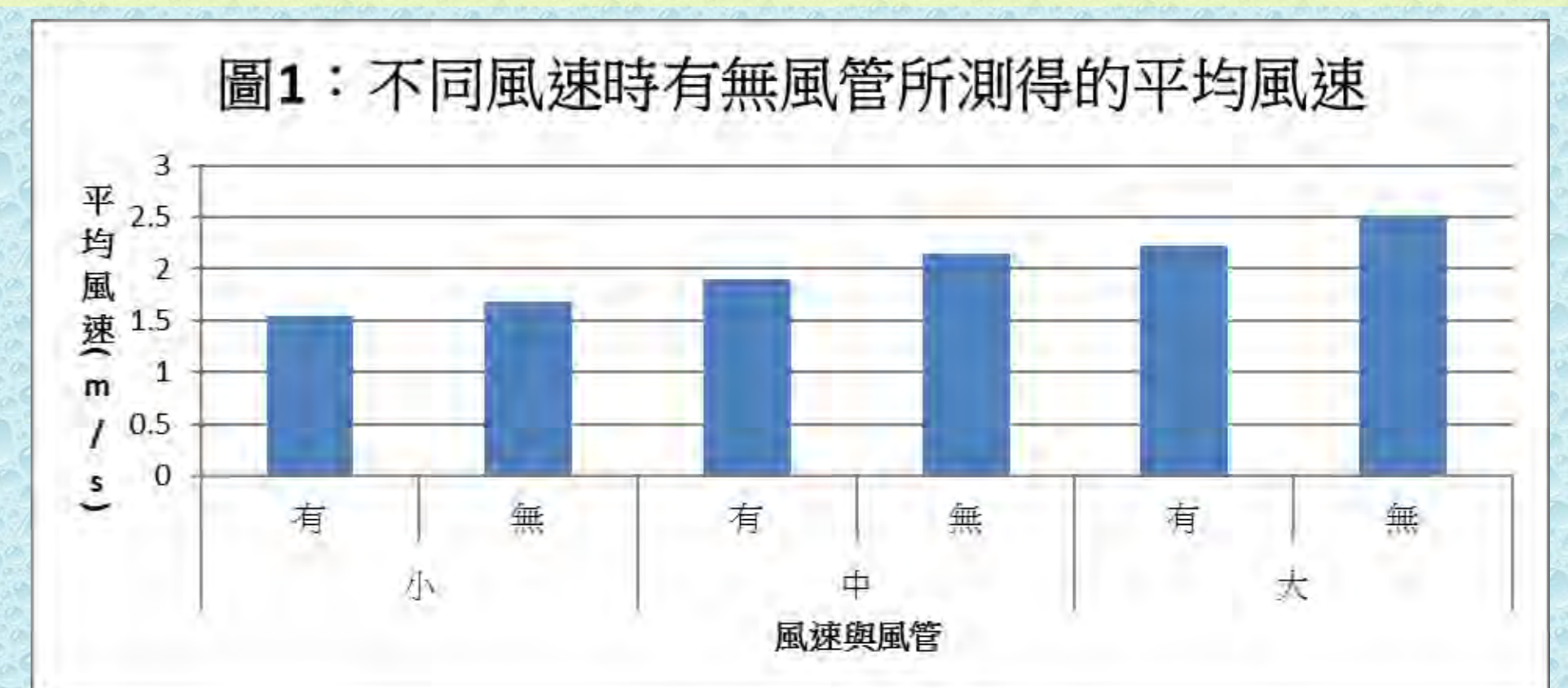


表1：不同風速時風管有無所測得的平均風速(m/sec)絕對平均差平均值

風扇風速	風管有無	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	絕對平均差平均值
小	有	1.6	1.4	1.5	1.3	1.6	1.7	1.6	1.5	1.6	1.5	1.5	1.6	1.54
	無	1.8	1.7	1.6	1.7	1.7	1.6	1.7	1.9	1.8	1.5	1.6	1.6	1.68
中	有	2.3	1.9	1.9	1.3	1.9	1.9	2	1.9	2	1.9	1.8	1.8	1.9
	無	2.4	2.1	2.1	2.2	2.2	2	2.2	2.3	2.3	2	2	2	2.14
大	有	2.1	2.4	1.9	2.2	2.1	2.3	2.2	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.23
	無	2.9	2.6	2.5	2.7	2.4	2.4	2.5	2.3	2.4	2.2	2.3	2.7	2.48

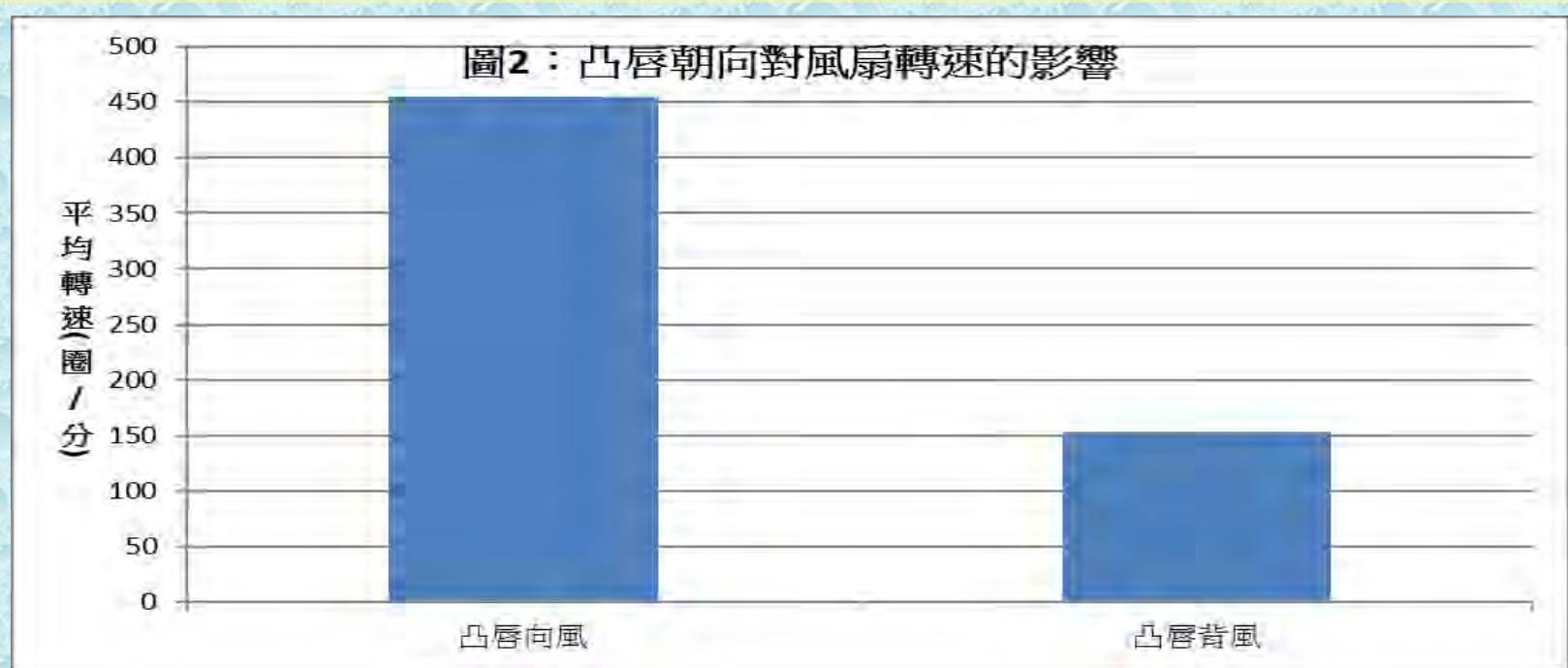
※塗黑數值為去除的最大值和最小值

二、圓盤紙風扇的凸唇的影響

- (一)由於圓盤紙風扇是將紙碗碗底裁切下來所製作而成，所以一面會形成凸唇，由圖2結果發現凸唇朝向迎風面所測得的平均轉速大於凸唇朝向背風面。
- (二)由於迎面風力撞擊圓盤紙風扇時部分風力會被導引穿過圓盤紙風扇，部分風力則被風扇底面導引而發

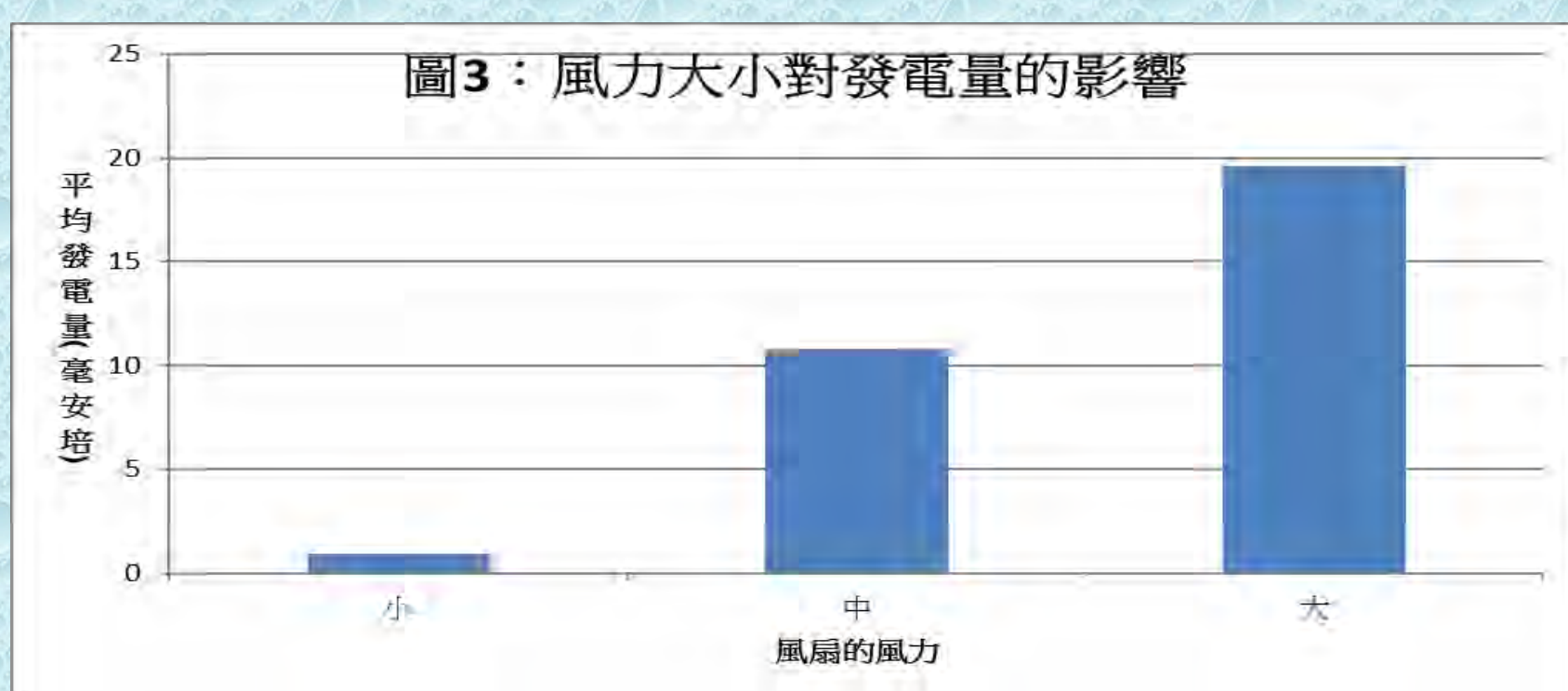
散，凸唇朝向迎風面時凸唇會阻擋部分發散的風力導致會擋風力的加強作用所以所測得的平均轉速較大。

(三)經討論結果因為氣流沿著扇葉快速通過扇面孔洞，導致扇葉兩側壓力差形成一股推力；公式為壓力差=作用力/面積，而且課本簡單機械中有教到物體要繞支點旋轉需產生足夠的力矩，而力矩=作用力×力臂，所以氣流越快通過扇葉兩側的壓力差越大，能夠轉換的作用力越大，所產生的轉動力矩也就越大。



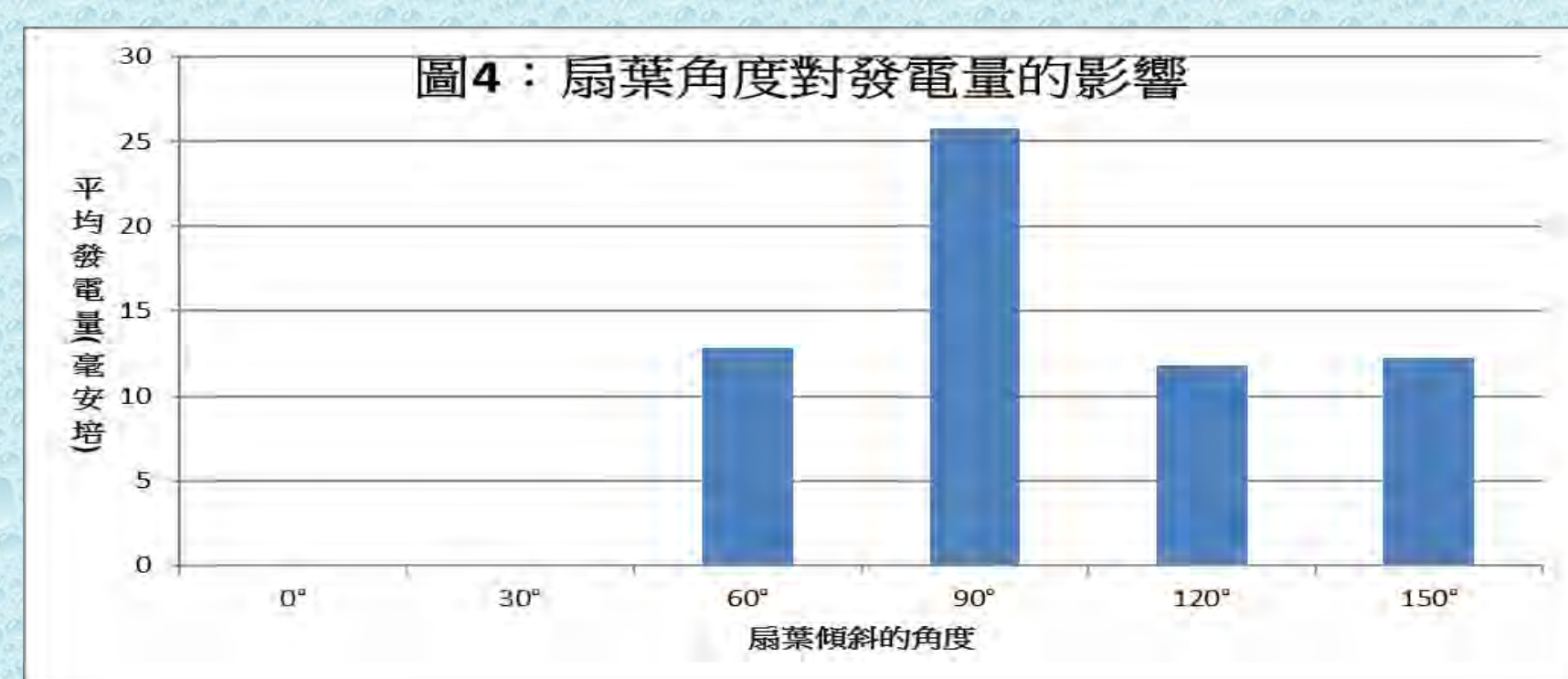
三、風速大小的影響

- (一)電風扇具備3種不同等級的風力，由圖3結果可以知道風力越大圓盤紙風扇轉動發電的平均電流越大。
- (二)電風扇送出的風力越強代表所攜帶的能量越大，這些能量促使圓盤紙風扇快速轉動，根據課本所提到的法拉第電磁感應定律「發電機轉軸轉速越快，磁場變化量越大，所感應出的電流量越大」。所以圓盤紙風扇轉動越快發電量越大。
- (三)由於不能直接利用鱷魚夾導線串聯接發電機與毫安培計，所以我們先取1個500歐姆的電阻線串聯時所測得的電流非常小，於是改取2個500歐姆的電阻線並聯後再串聯到電路上，此時總電阻就降為250歐姆。



四、扇葉傾斜角度的影響

- (一)扇葉傾斜角度不同圓盤紙風扇轉動發電產生的平均電流也不同，由圖4扇葉傾斜0°、30°和180°無法產生有效的轉動力矩；角度90°時產生的電流最大，傾斜角度60°、120°和150°時所產的平均電流差異不大。夾角180°代表無扇葉存在。
- (二)我們推測扇葉傾斜角度0°和30°時會擋住氣流通過的孔洞，無法產生有效的轉動力矩，夾角90°時與作用力的垂直力臂最大，傾斜角度60°、120°和150°時所產的垂直力臂較小，因此夾角90°時產生的力矩和最大轉動就越容易，產生的電流就越大。



五、扇葉展開葉片數的影響

- (一)由表2結果發現只有展開扇葉5片及6片時才能轉動風扇，只展開1片至4片扇葉時幾乎不會轉動，扇葉數量多時愈容易轉動。
- (二)由於發電機內部轉動摩擦力會阻止發電機的轉動，所以扇葉數多且大家傾斜方向都相同，所產生的同方向轉動的力矩和就愈大，克服發電機的轉動阻力就能夠容易轉動。
- (三)由於圓盤紙風扇為圓形裝置是利用圓規畫模板，所以圓周6等分最容易操作。
- (四)扇葉數展開越多總力臂長度越大。

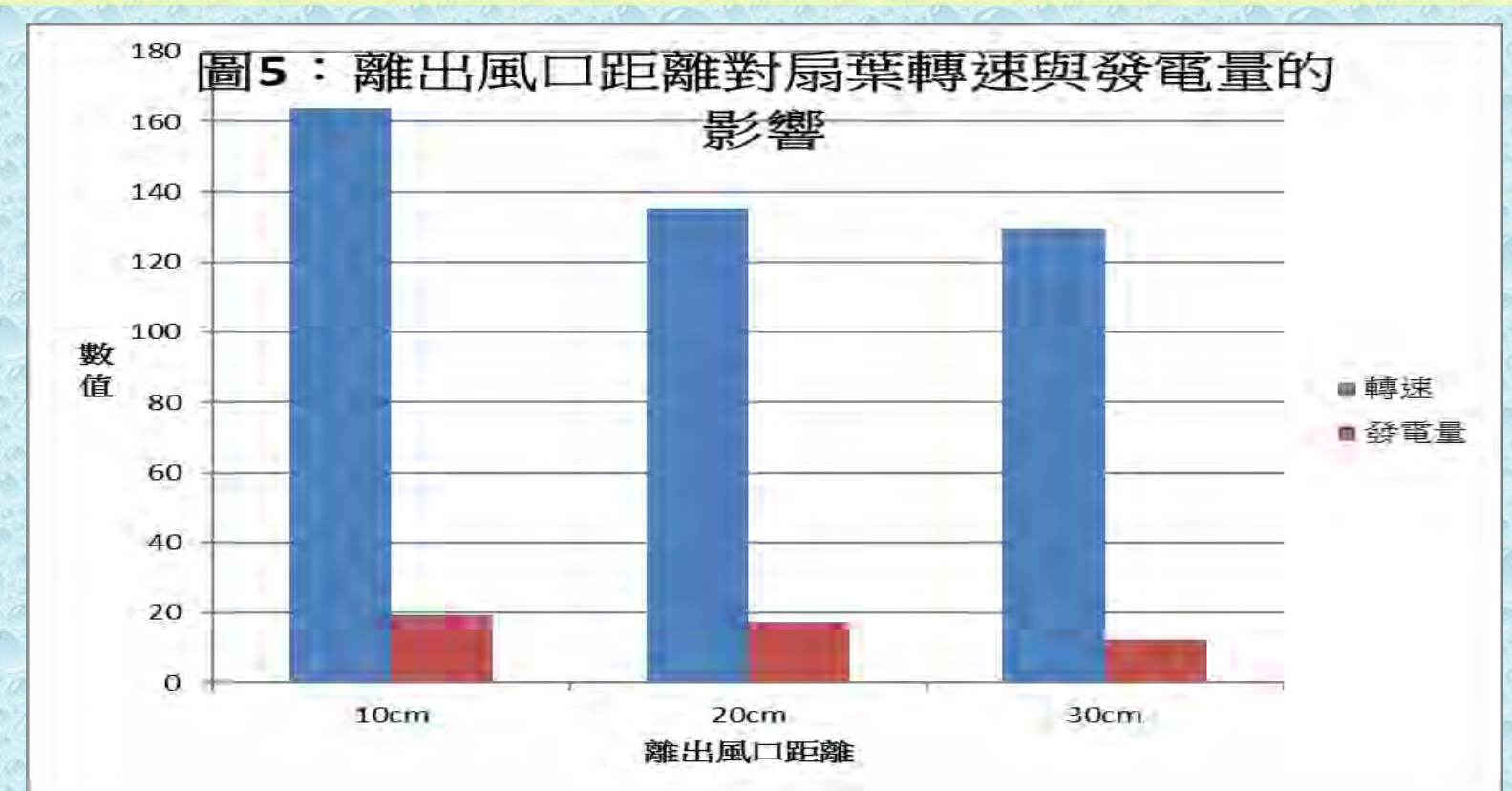
表2：圓盤紙風扇扇葉展開的葉片數量與產生的最大電流(毫安培)

扇葉狀態	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	平均
不對稱扇葉 1片	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
不對稱扇葉 2片	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
不對稱扇葉 3片	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
不對稱扇葉 4片	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
不對稱扇葉 5片	16	14	11	14	14	14	15	14	16	14	13	14	14.2
對稱扇葉 2片	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
對稱扇葉 3片	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
對稱扇葉 4片	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
對稱扇葉 6片	26	25	24	29	23	25	29	27	27	26	25	24	25.8

※塗黑數值為去除的最大值和最小值。

六、扇葉與出風口距離對轉速與發電量的影響

- (一)根據圖5結果距離自製風管出風口越近圓盤紙風扇轉速越快，所產生的電流越大。
- (二)氣流的流動會有能量的攜帶，流動經過的距離越遠所耗損的能量越多轉移給圓盤紙風扇的能量越少，轉速就會變慢所產生的電流就變小。



七、在學校川廊進行圓盤紙風扇發電的可行性探討

- (一)校園是我們學習的場域，由於嘉義地區較容易有西南風侵襲，東西向的走廊和川廊是學校常有氣流流動的地方，根據圖6結果發現校園川廊平均產生的電流達到4.1毫安培較走廊效果好。
- (二)學校南北向川廊穿越大樓且是挑高建築，走廊較像風管，根據風管定理「氣體沿著大樓等障礙物流動時，遇到可以穿越的空間會有流動加速的現象」，由表3結果利用風速計測量風速時確實也有這種現象。
- (三)利用一般扇葉轉動雖然容易取得材料組合，但是在人來人往的地方頭頂有轉動的扇葉給行人的壓力頗大，害怕扇葉會不會掉下來。利用圓盤紙風扇重量輕加上外圍有凸唇圍住扇葉，比較不會有被扇葉打中的恐懼。
- (四)本次使用的是教學用發電機若能取得發電效率更好的風力發電機，搭配圓盤紙風扇固定於學校川廊上方空間，不僅可以發電利用也可用於教學，甚至可做為裝置藝術。

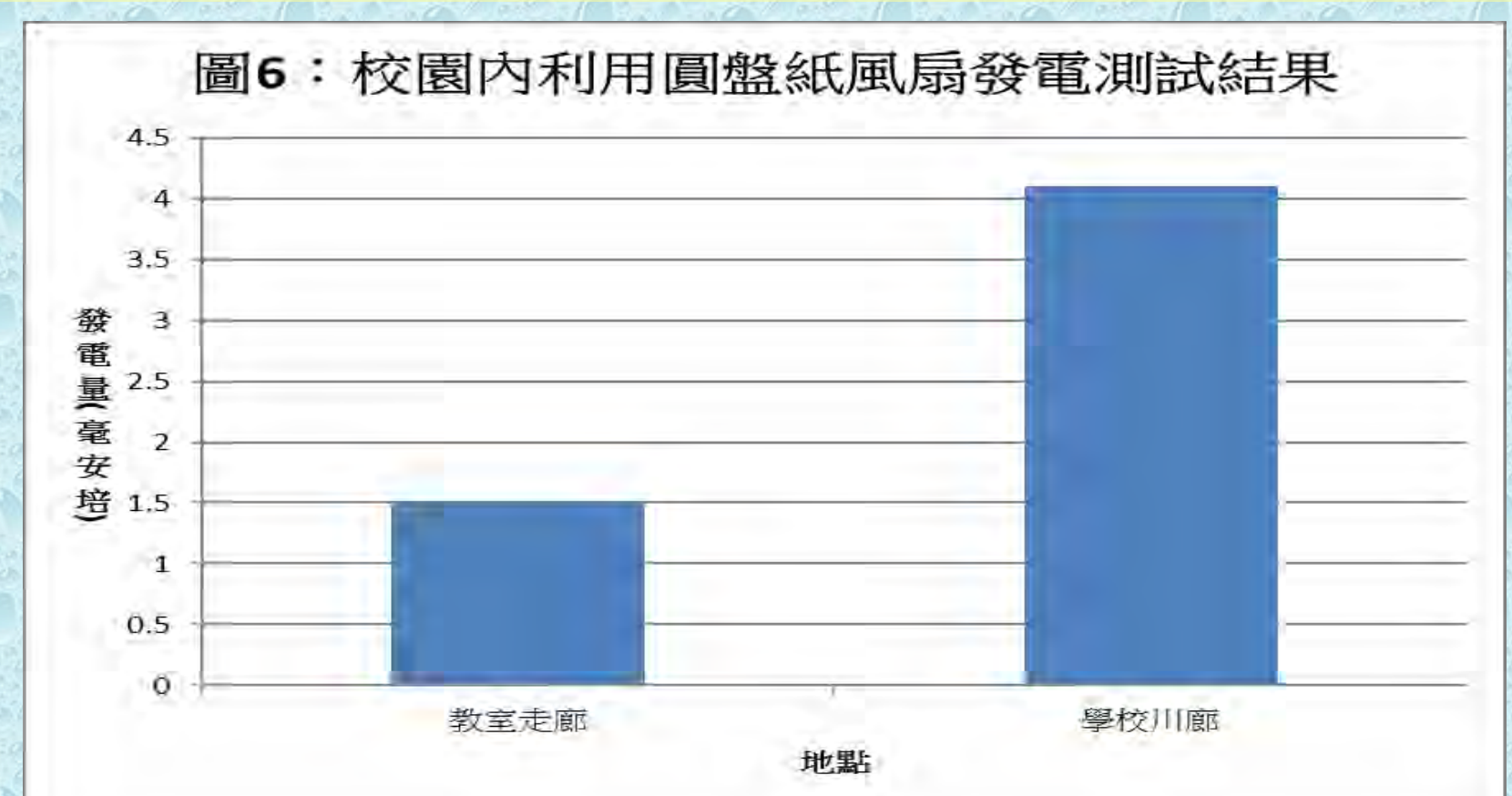


表3：學校南北向川廊及教室走廊風速計所測得風速(m/s)

次數	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	平均
教室走廊	0.7	0.4	0.5	0.1	0.2	0.3	0.5	0.2	0.3	0.6	0.7	0.6	0.43
學校川廊	0.7	0.6	0.4	0.3	0.3	1.1	0.7	0.7	0.7	1.2	2.1	2.7	0.85

陸 結論

- 一、校園具有較空曠的空間可以進行風力發電的實驗，為了克服被扇葉打中的恐懼，我們想到利用重量較輕打到也比較不會痛的圓盤紙風扇。
- 二、自製的風力發電機組會受到風管、凸唇朝向、風速、扇葉傾斜角度、扇葉展開的葉片數與出風口距離的影響，最好的狀態是有集中風力的風管穩定發電效率、凸唇朝向迎風面、風速要快、扇葉傾斜角度90°、扇葉展開至少5片以上葉片以及距離出風口越近越好。
- 三、本次研究裝置是利用氣流沿著扇葉快速通過扇面孔洞，導致扇葉兩側壓力差形成一股推力；公式為壓力差=作用力/面積，而且課本簡單機械中有教到物體要繞支點旋轉需產生足夠的力矩，而力矩=作用力×力臂，所以氣流越快通過扇葉兩側的壓力差越大，能夠轉換的作用力越大產生的轉動力矩也就越大。
- 四、學校最容易形成風管效應的地點就是南北向的川廊，川廊挑高空間較大是適合裝置圓盤紙風扇發電機的地點。

柒 參考文獻

- 一、南一書局。2017。國中自然第5冊第3章功與機械應用。出版地：台南市。
- 二、南一書局。2017。國中自然第6冊第1章電與磁。出版地：台南市。
- 三、維基百科。2018/01/03。風能。
- 四、牛山泉。2010。圖解風力發電入門。臺北縣：世茂。
- 五、張希良(主編)。2007。風力發電技術。臺北縣：新文京開發。