

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 物理科

040103

電風扇扇葉角度的秘密

學校名稱：桃園縣私立新興高級中學

<p>作者：</p> <p>高二 余承勳</p> <p>高二 彭士軒</p> <p>高二 何弘達</p>	<p>指導老師：</p> <p>郭達敬</p> <p>劉亞浚</p>
--	------------------------------------

關鍵詞： 電風扇、能量轉換效率

摘要

本實驗主要探討一般家用電風扇葉扇角度對輸出風力的影響，在過程中藉由改變葉扇的角度及面積，探討電能功率轉變成輸出風力功率的情形。

實驗中，我們假設葉片和空氣分子間的碰撞為彈性碰撞，並以此假設提出理論模型。再利用葉扇角度為0度角時，所測得轉軸處消耗的功率為背景，分析討論各種葉扇寬度及角度所對應的輸出風力功率，期望能從中找到較理想的葉扇角度。

從實驗結果，我們發現要使向前輸出風力較大，其中一個方法是將角度調小來提高轉速，但因電風扇馬達的設計，若轉速過大會在轉軸處消耗更多的能量。所以需藉由調整葉扇的角度及面積，得到較佳的向前輸出風力或是較好的能源效率比。

壹、研究動機

一直以來，很好奇不同風扇的葉扇角度為何不太一樣，又在偶然一次的機會，見到電視中的省電大作戰的節目，激發了我們的疑問。因此，聯想到高一基礎物理中介紹馬達的章節，突然間一個直覺的念頭，為何電風扇葉扇的形狀是這個模樣？是爲了省電嗎？還是爲了造成某個方向的風力最大？

想了一連串的問題之後，我們決定動手去做，發掘問題的答案，並請物理老師幫助我們。最後，我們決定自己買一個電風扇，並將葉扇部分進行大改造，希望能夠藉由改變葉扇角度及電源輸出功率的情況下，找出葉扇角度的秘密。

貳、研究目的

- 一、主題（一）：對家用電扇馬達特性之初步解析
- 二、主題（二）：探討葉扇角度對向前輸出風力大小及電能產生向前風力動能效率比之影響

參、研究設備及器材

一、研究設備器材：

表 3-1 研究設備器材表

名稱	數量	名稱	數量
自製風管	1 個	板手	1 把
電風扇	1 台	墊片	數個
自製葉扇(寬 3~6 cm，長均為10cm)	各 4 個	三用電表	2 台
螺絲	數個	六角板手	1 個
螺絲起子	1 把	鋼架	2 個
量角器	1 個	插栓	4 個
自耦變壓器	1 台	自製葉扇轉頭	1 個
鱷魚夾	數條	膠帶	1 個
架子	1 個	美工刀	1 把
光電計時器	1 台	風速計	1 台
線	數條	滴管夾	2 台
鋸子	1 個	木條	1 根
原扇葉	1 個	鐵手臂	1 個



圖 3-1 實驗設備及器材圖

二、獨立設計 “可調整葉扇角度之轉頭”

(一) 目的：

藉由改變葉扇角度，探討不同葉扇角度對輸出風力大小的影響。

(二) 使用材料：

自製葉扇轉頭	1個
葉扇插栓	4支
六角螺絲	6個
自製葉扇(寬3~6 cm，長均為10cm)	4組

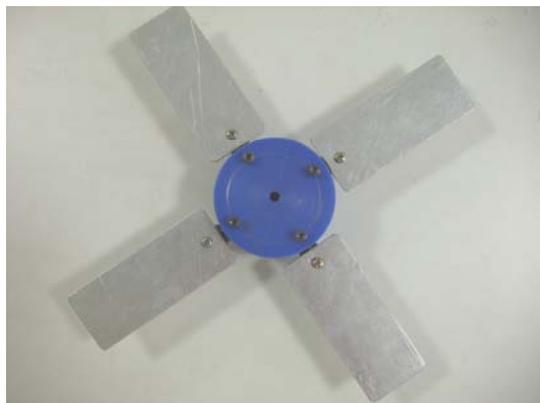


圖 3-2 自製扇葉轉頭裝置

(三) 功能：可調整扇葉角度，測量風速以探討扇葉角度對輸出風力之影響。

(四) 使用方法：

將自製葉扇鎖在插栓上，再將插栓插入葉扇轉頭上，並以六角螺絲鎖緊固定，目的用來改變葉扇角度。

肆、研究過程或方法

一、研究原理：

(一) 風扇運轉下電能以不同形式能量的消耗可細分為：

1、電源輸出功率[1][2]：

當風扇所接的電源電壓為 V 、輸出電流為 I 的迴路中，電源輸出功率 $P = IV$ 。

2、馬達內線圈電阻產生的電流熱效應：

當輸出電流為 I 、馬達內線圈電阻 R ，電流熱效應 $P_H = I^2R$

3、轉軸摩擦力：

轉軸在轉動的過程中會因摩擦產生熱能，而轉速越快的情況之下，轉軸每秒產生的熱能亦越大。

4、空氣與葉扇的摩擦力：

流體的摩擦力與面積及速度有關，如果葉扇的面積越大則此部分的消耗越大，且相對速度越大摩擦力也越大。

5、空氣分子與葉扇彈性碰撞造成之阻力做功[3][8]：

當葉扇的面積為 A 寬度為 L ，且和轉軸中心的距離 r 由 a 至 b (如圖4-1所示)，角速度為 ω ，且此時空氣的密度為 ρ ，假設葉扇對空氣分子的垂直力使空氣分子團獲得移動之動能，如圖4-2所示(延葉扇面觀察)，一空氣分子 dr 處於受到葉扇的垂直方向的作用力產生彈性碰撞，根據彈性碰撞公式可以知道此空氣分子團的移動速度可表示如下：

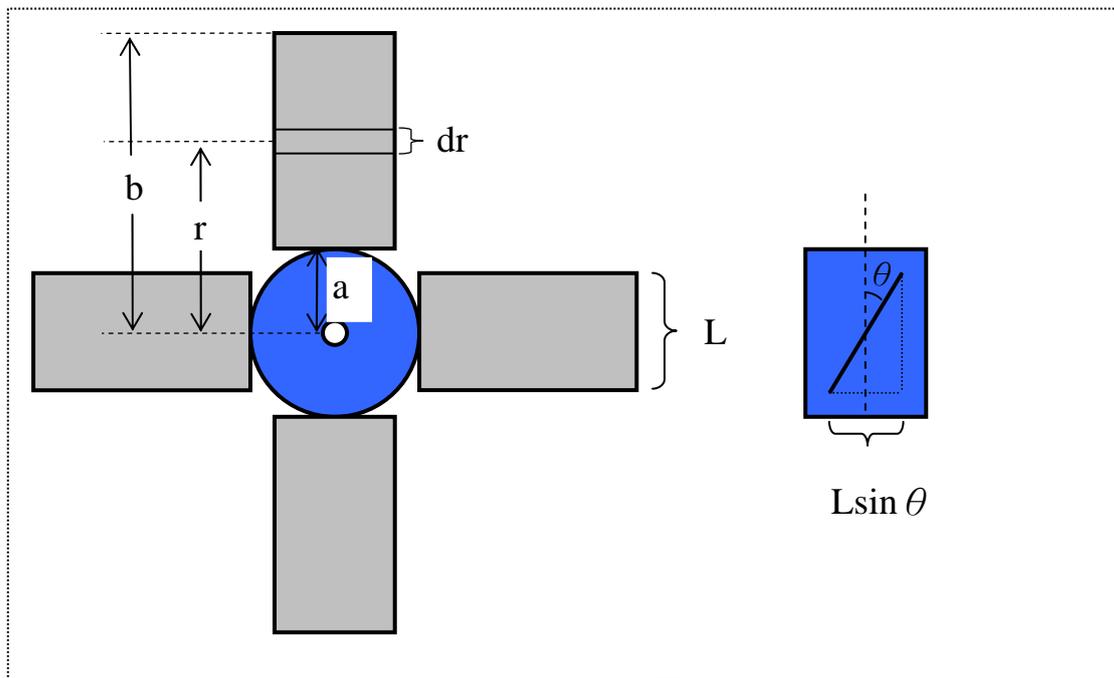


圖 4-1 葉扇正視圖及側視圖

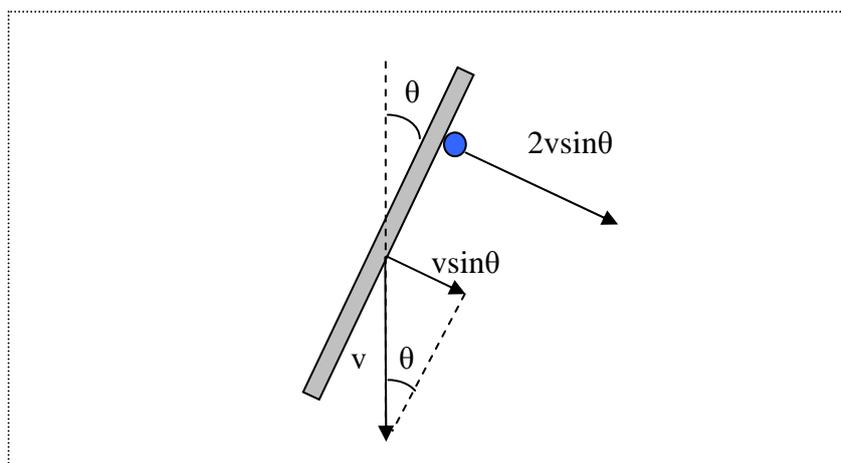


圖 4-2 葉扇與空氣分子彈性碰撞圖

$$v_{air} = \frac{2m_{葉片}}{m_{葉片} + m_{空氣}} \times v \sin \theta \quad \text{且 } m_{葉片} \text{ 甚大於 } m_{空氣}, \text{ 可以推知}$$

$$v_{air} = 2v \sin \theta = 2\omega r \sin \theta$$

當葉扇轉動一圈時於 dr 處掃過空氣的質量

$$dm = dV \times \rho = 2\pi r L \sin \theta \times dr \times \rho$$

$$\text{此時造成空氣分子的動能 } dE_k = \frac{1}{2} dm v_{air}^2 = 4\pi \rho L \omega^2 \sin^3 \theta \times r^3 dr$$

葉扇轉動一圈對空氣分子做功

$$E_k = \int dE_k = \int_a^b 4\pi \rho L \omega^2 \sin^3 \theta \times r^3 dr = \pi \rho L \omega^2 \sin^3 \theta (b^4 - a^4)$$

所以每秒輸出之電能，藉由垂直力做功而轉換成空氣分子團之動能的功率

$$P_N = \frac{E_k}{T} = \frac{\pi \rho L \omega^2 \sin^3 \theta (b^4 - a^4)}{2\pi / \omega} = \frac{1}{2} \rho L \omega^3 \sin^3 \theta (b^4 - a^4) \quad (4-1)$$

(二) 若葉片數目為 N 片，且只考慮空氣分子團獲得向前移動動能之功率[4]，式(4-1)可寫成

$$P_{//} = \frac{1}{2} \rho L \omega^3 \sin^3 \theta \cos^2 \theta (b^4 - a^4) N \quad (4-2)$$

定義

$$k = L \omega^3 \sin^3 \theta \cos^2 \theta \quad (4-3)$$

k 值的意義為葉扇與空氣分子發生一次碰撞所產生向前風力功率的比例係數，因我們葉扇皆採用長度相同，且葉扇數目為四片，故所有實驗中 $(b^4 - a^4)N$ 為一定值。

實驗中，因風速計之葉扇之直徑為 6 cm，故我們將風管(直徑30cm)分成A、B、C三個區域，來計算實際空氣分子團獲得移動動能之功率 P_{Ek} 。如圖 4-3

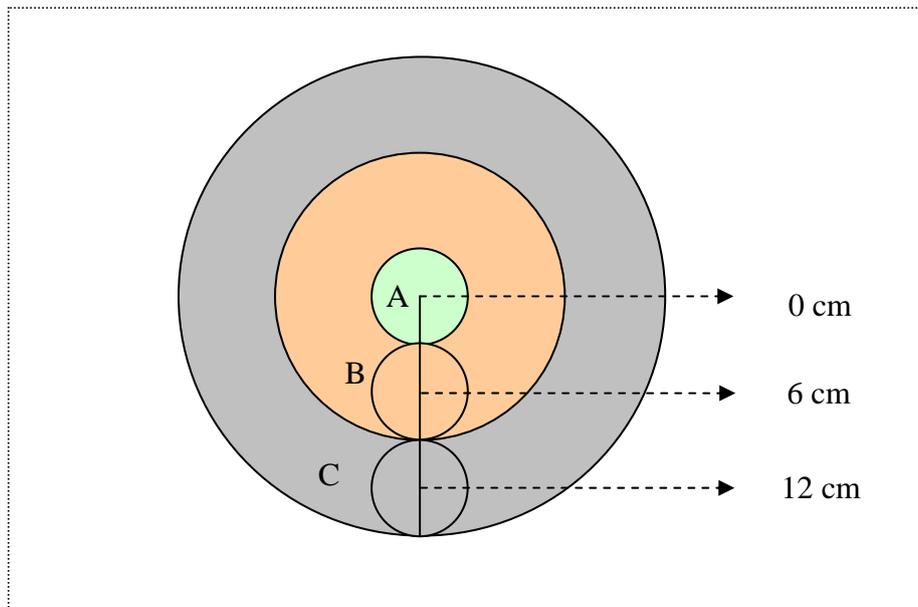


圖 4-3 風速計測量位置圖

A、B、C三個區域面積分別用 S_A 、 S_B 、 S_C 表示，測量到風速為 v_A 、 v_B 、 v_C ，空氣的密度為 ρ ，則空氣分子團獲得移動動能之功率

$$P_{Ek} = \frac{1}{2} \rho (S_A v_A^3 + S_B v_B^3 + S_C v_C^3) \quad (4-4)$$

P_{Ek} 值的意義為空氣分子與葉扇多次碰撞造成空氣向前動能之功率。

二、研究過程與方法

(一)、主題（一）：對家用電扇馬達特性之初步解析

目的：探討轉軸處能量消耗之功率的影響因素

實驗步驟：

- 1、將 3cm * 10cm 之自製葉扇鎖在插栓上，再將插栓插入葉扇轉頭上，將角度調整在葉扇角度為 0°，並以六角螺絲鎖緊固定，如圖 4-3。
- 2、將風扇的後方保護鐵網，用老虎鉗剪去一根小鐵絲，並將”接收極”塞入固定（下方墊一適當大小之木塊）。
- 3、利用塑膠材質之瓦楞紙（長 100cm * 寬 60cm）捲成圓筒狀（作為風管），內部從”接收極”量至 20cm 處（不可超過）架設”發射極”。
- 4、將風管套至電風扇，指示燈亮起即可。
- 5、光電計時器設定為”計次計時”，每次計時以 80 次為準，記錄取 10 組數據並取平均值。
- 6、從電壓 0V 調高電壓至 110V 逐一向上測量（60V 以上間隔 5V 測量，60V 以下間隔 2V 測量），同時記錄安培計及伏特計之讀數，並切斷電源迅速量取電阻值。
- 7、實驗裝置圖如圖 4-4
- 8、固定葉扇長度 10cm，改變葉扇寬度，分別為 4、5、6 cm，重複實驗步驟 1 ~ 6。

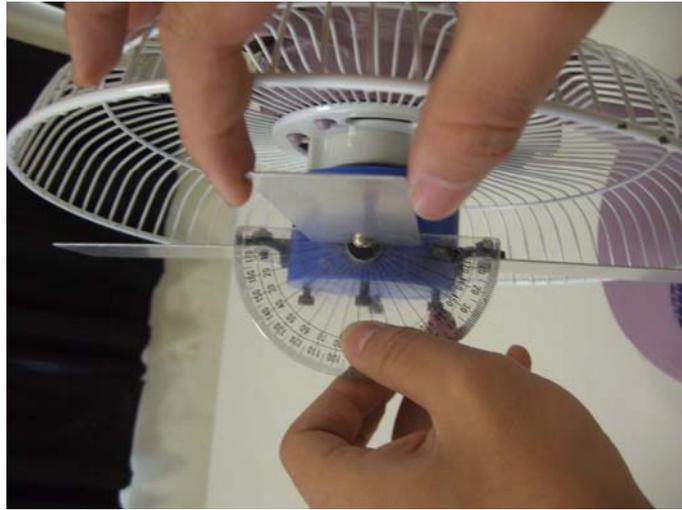


圖 4-4 利用量角器調整葉扇角度



圖 4-5 主題（一）實驗裝置圖

(二)、主題（二）：探討葉扇角度對向前輸出風力大小及電能產生向前風力效率比之影響

目的：藉由調整葉扇角度及電壓，探討影響輸出風力之因素

實驗步驟：

- 1、將 3cm * 10cm 之自製葉扇鎖在插栓上，再將插栓插入葉扇轉頭上，將角度調整在葉扇角度為 5° ，並以六角螺絲鎖緊固定。
- 2、光電計時器設定為”計次計時”，每次計時以 80 次為準，紀錄取 10 組數據並取平均值。
- 3、將電壓從 60V 每間隔 10V 調高電壓至 110V，同時記錄安培計及伏特計之讀數，並切斷電源迅速量取電阻值。

- 4、調整電壓為 110V，在風管出風口處綁上繩子，以風管中心為刻度 0 cm 向外至風管邊緣為 15cm，在刻度為 0 cm、6cm、12cm 處以風速計測量風速大小並紀錄之。同時記錄安培計及伏特計之讀數，並切斷電源迅速量取電阻值。
- 6、實驗裝置圖如圖 4-5
- 7、調整角度至 10、15、20、.....、80 度，重複實驗步驟 1~6
- 8、固定葉扇長度 10cm，改變葉扇寬度，分別為 4、5、6 cm，重複實驗步驟 1 ~ 7。



圖 4-5 主題（二）實驗裝置圖

伍、研究結果

一、主題（一）研究結果：

改變輸入電壓，並藉由三用電錶讀取的電流及電阻值，可以計算出電源輸出功率扣除因電流產生的熱效應功率，即為下式中之 ΔP ，表示為葉扇轉軸處的消耗功率(P_L)及葉扇與空氣分子間交互作用所消耗的功率(P_{Air})。

$$\Delta P = IV - I^2R = P_L + P_{Air} \quad (5-1)$$

在葉扇的夾角為0度時，改變葉扇的寬度（長度不變），測得之 ΔP 及葉扇轉動的頻率 f 的關係圖如下。從圖形可以發現不同葉扇面積得到的圖形幾乎相同，皆為在頻率約為25Hz附近會突然增大的趨勢，其中無法辨識不同面積下造成 ΔP 值的差異，所以此時 P_{Air} 忽略。因此，在此次實驗中得到的 ΔP 值大部分由葉扇轉軸處消耗功率(P_L)造成，並可得知葉片的質量不同導致轉軸處造成 P_L 變化不大。

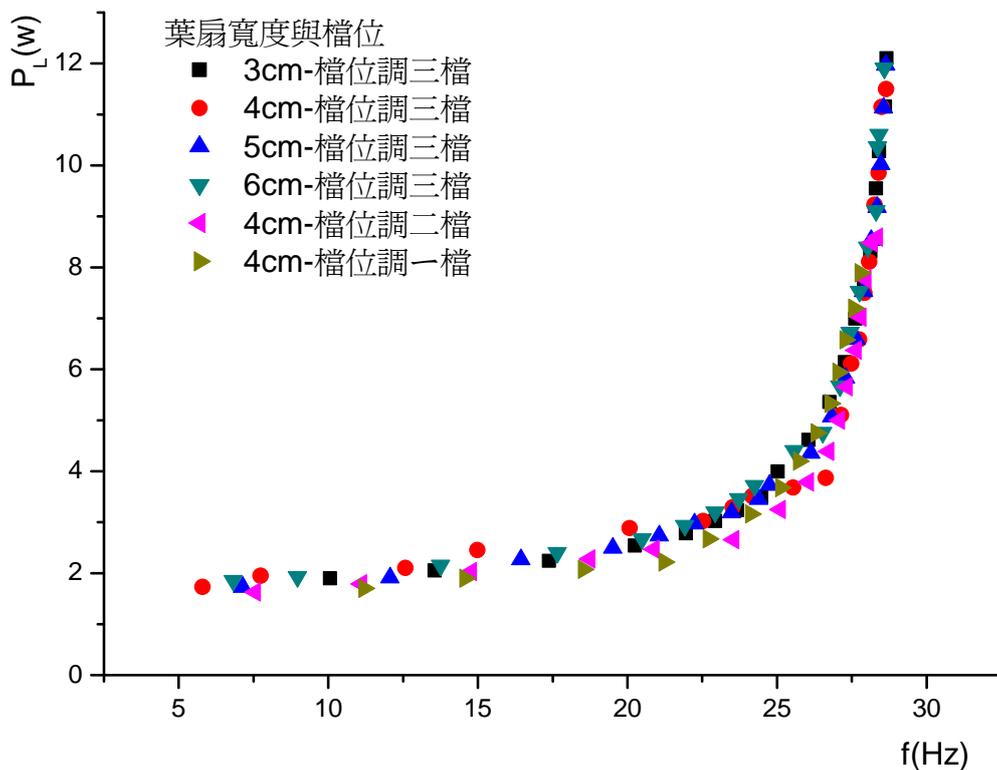


圖5-1 葉扇轉軸處消耗功率(P_L)與頻率 f 關係圖

二、主題（二）研究結果：

為探討不同的角度下葉扇造成輸出風力的功率，採用不同面積的風扇，改變葉扇的角度，利用變壓器輸入不同的電壓，量取葉扇轉動頻率、輸入電流值及迴路電阻值。利用主題(一)的方法求得 5-1 式中的 ΔP 值，為求得不同輸入電壓下，各種風扇面積及角度造成的輸出風力的功率，利用內插法求得不同頻率對應的 P_L 值，我們處理的數據的步驟如下：

- (1) 利用數據分析軟體在主題一實驗量得數據中內插 60000 個數據點得到之圖形如圖 5-2。
- (2) 將這些數據點貼入 Excel 中，並將實驗測得不同的頻率值找出對照之 P_L 值。
- (3) 利用能量守衡的關係可以得知輸出風力的功率可以用下式表示：

$$P_{air} = IV - I^2R - P_L \quad (5-2)$$

處理實驗數據後得到不同葉扇面積、葉扇角度及輸入電壓下之 P_{Air} 值，並從數據中發現：

- (1) 固定葉扇大小、角度下，電壓越高 $\frac{P_{air}}{P_{in}}$ 值及 P_{Air} 值越大，任取三組比較如圖 5-3。
- (2) 固定電壓為 110V，計算出葉扇寬度及角度下所對應的 P_{Air} 值、 $\frac{P_{air}}{P_{in}}$ 值及 $\frac{k}{P_{in}}$ 值如表 5-1 所示，並將四種葉片此三種值及對應的 k 值作圖如圖 5-4。
- (3) 為了解電風扇輸出向前的風力的功率(P_{Ek})和葉扇角度的關係，利用風洞實驗得到的數據，做出不同葉扇寬度下不同角度所對應的 P_{Ek} 值之比例，如圖 5-5 所示。
- (4) 將不同葉扇寬度之 k 值及 P_{Ek} 值對角度變化的趨勢做一比較如圖 5-6 所示
- (5) 做相同葉扇寬度的情況下 k 值及 P_{Ek} 值之相關度分析如圖 5-7 及不分葉扇寬度所有 k 值及 P_{Ek} 值之相關度分析如圖 5-8。
- (6) 固定葉扇角度及葉扇寬度，k 值及 P_{Air} 值的相關度分析如圖 5-9 及 k 值及 $P_{Air} \cos^2\theta$ 值的相關度分析如圖 5-9。
- (7) 最後恢復電風扇的原貌，將原來的扇葉裝上之後，電壓設為 110V 並將檔位調至三檔，測得相關的數據值整理於表 5-2，並與葉扇寬度 6cm、葉扇角度 25 度量得的數據值做一比較。

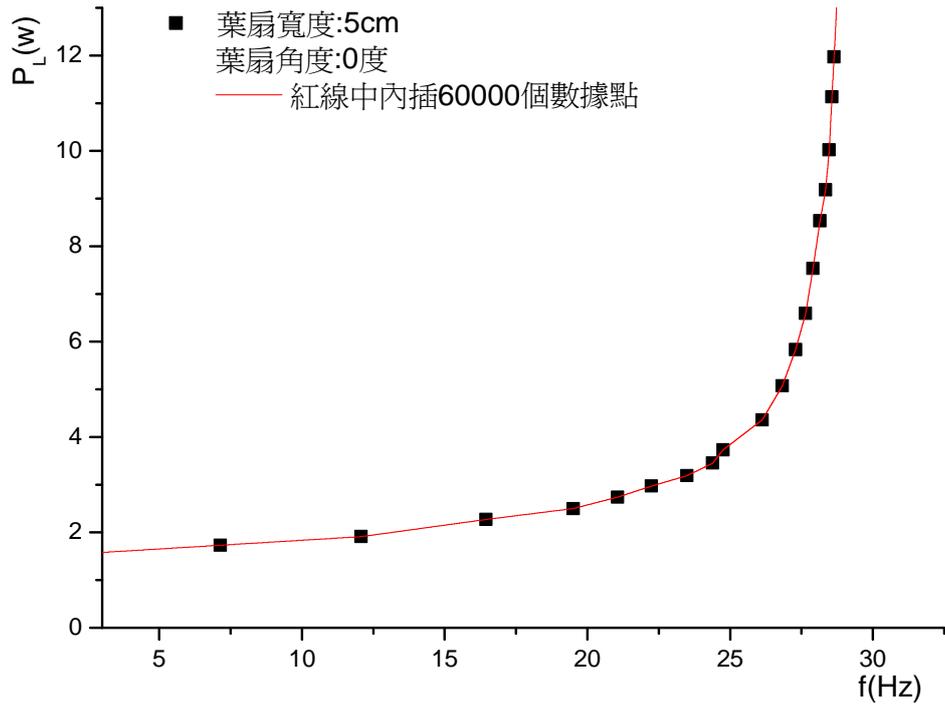


圖 5-2 利用數據分析軟體在實驗頻率範圍內內插 60000 個數據點

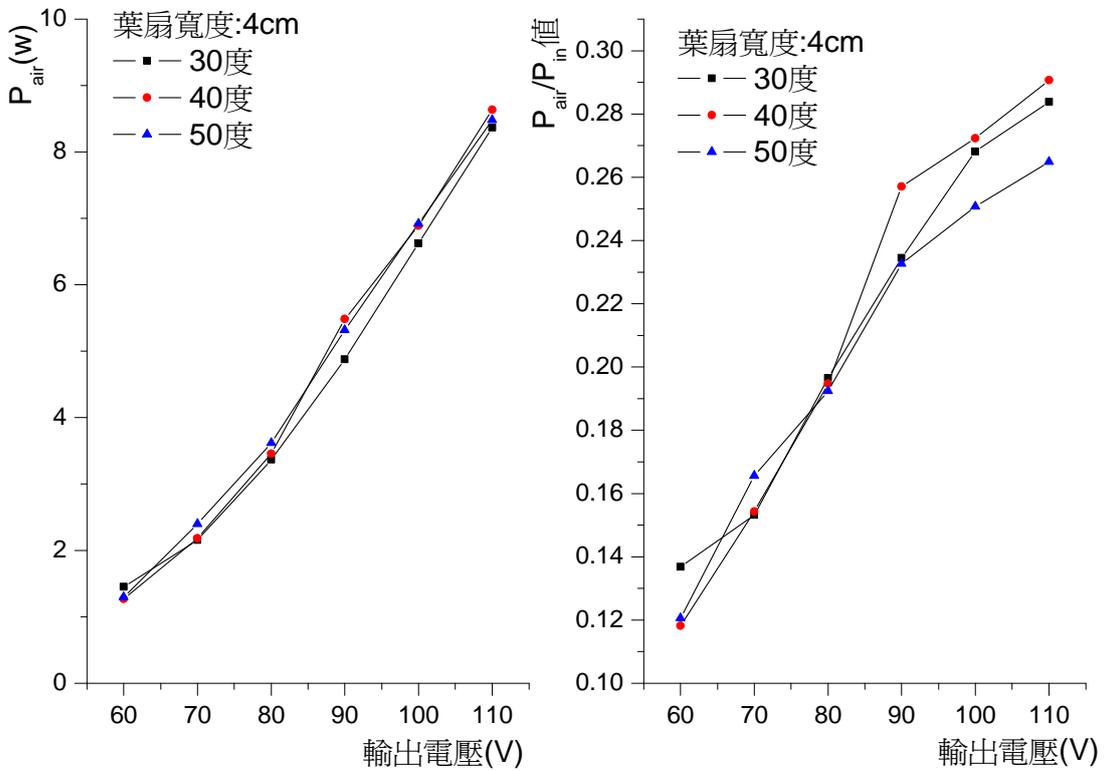


圖 5-3 電壓對 P_{Air} 值及電壓對 $\frac{P_{air}}{P_{in}}$ 值之關係圖

葉扇 角度 (度)	葉扇寬度三公分			葉扇寬度四公分			葉扇寬度五公分			葉扇寬度六公分		
	P_{Air} (瓦)	$\frac{P_{air}}{P_{in}}$	$\frac{k}{P_{in}}$									
5.0	0.59	2.13%	2	1.34	4.86%	2	1.00	3.83%	3	1.07	3.88%	3
10.0	2.23	7.93%	12	1.85	6.76%	17	3.70	13.21%	20	3.83	13.67%	24
15.0	5.47	19.34%	37	5.16	18.32%	50	6.58	23.37%	58	6.45	22.64%	69
20.0	6.28	22.22%	77	8.37	28.38%	83	7.91	26.94%	103	7.95	27.38%	129
25.0	8.07	27.18%	101	8.63	29.07%	125	8.86	28.97%	135	9.01	28.85%	143
30.0	8.39	27.42%	127	8.48	26.48%	115	9.09	28.03%	113	8.61	26.19%	104
35.0	8.82	28.14%	141	8.23	25.27%	123	9.08	26.97%	89	8.35	25.32%	79
40.0	8.76	26.81%	108	8.27	24.89%	74	9.19	26.85%	68	9.16	26.94%	58
45.0	8.81	26.26%	79	8.26	25.12%	73	8.13	23.98%	66	8.87	26.10%	66
50.0	8.16	24.25%	71	8.22	24.27%	63	8.58	24.85%	61	8.55	24.83%	57
55.0	8.33	24.66%	64	7.97	23.37%	43	8.98	25.93%	30	8.54	24.66%	35
60.0	8.09	23.66%	32	7.92	22.94%	28	8.63	24.92%	18	8.41	24.27%	20
65.0	8.41	24.34%	19	7.97	24.06%	19	8.81	25.50%	11	7.75	22.35%	12
70.0	7.51	21.68%	11	7.39	21.52%	11	8.33	24.27%	7	8.79	25.62%	7
75.0	7.68	22.23%	6	7.76	22.54%	5	9.19	26.94%	4	8.69	25.50%	4
80.0	8.68	25.13%	3	7.04	20.50%	2	9.27	26.50%	2	8.74	25.87%	1

表 5-1 四種不同面積的葉扇於輸入電壓 110V、檔位於三檔時，比較葉扇不同角度時之

P_{Air} 值、 $\frac{P_{air}}{P_{in}}$ 值及 $\frac{k}{P_{in}}$ 值的大小

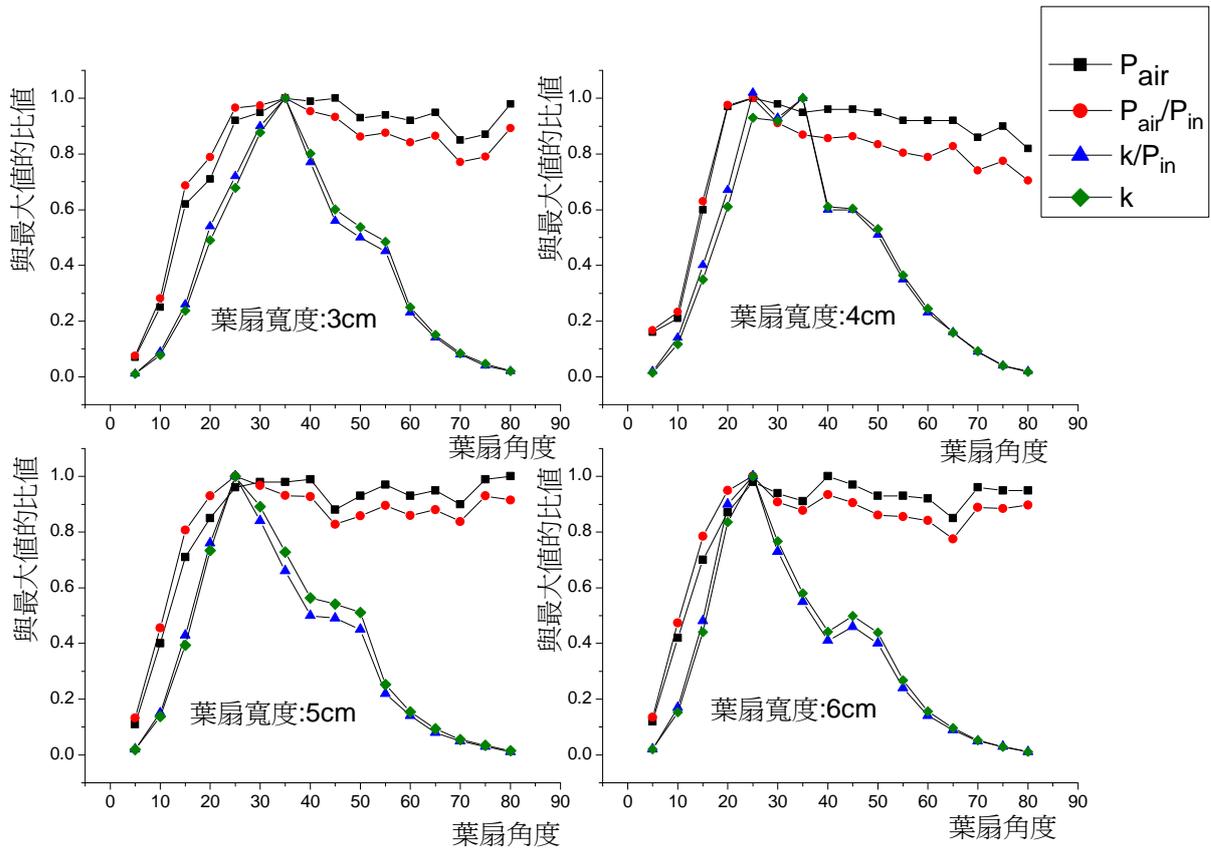


圖 5-4 比較不同葉扇角度其 P_{Air} 、 $\frac{P_{air}}{P_{in}}$ 、 $\frac{k}{P_{in}}$ 及 k 值之趨勢圖

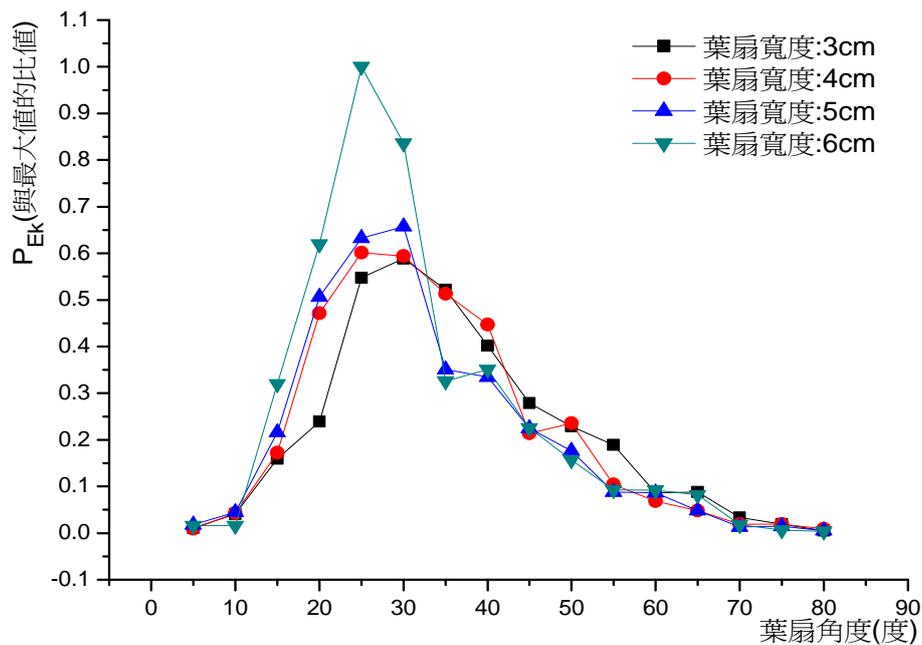


圖 5-5 比較不同葉扇寬度及葉扇角度下向前輸出功率之大小

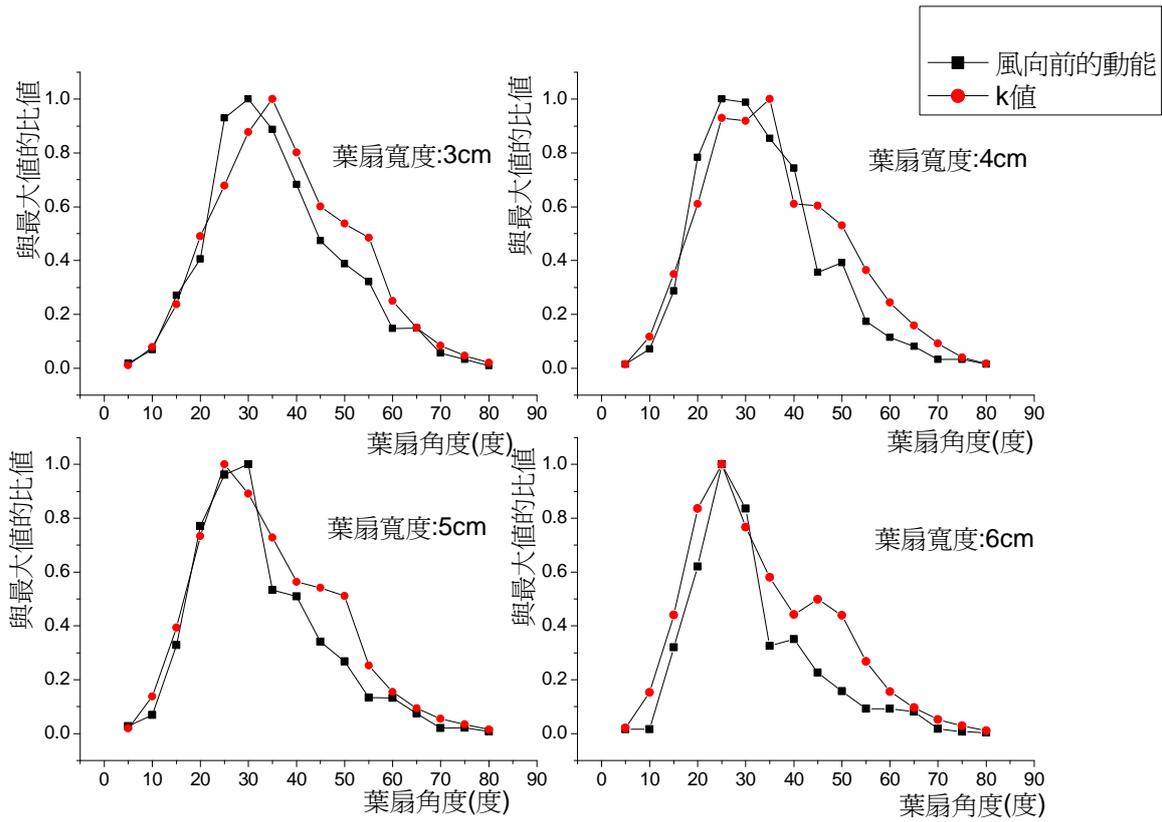


圖 5-6 比較不同葉扇寬度之 k 值及 P_{Ek} 值對角度變化的趨

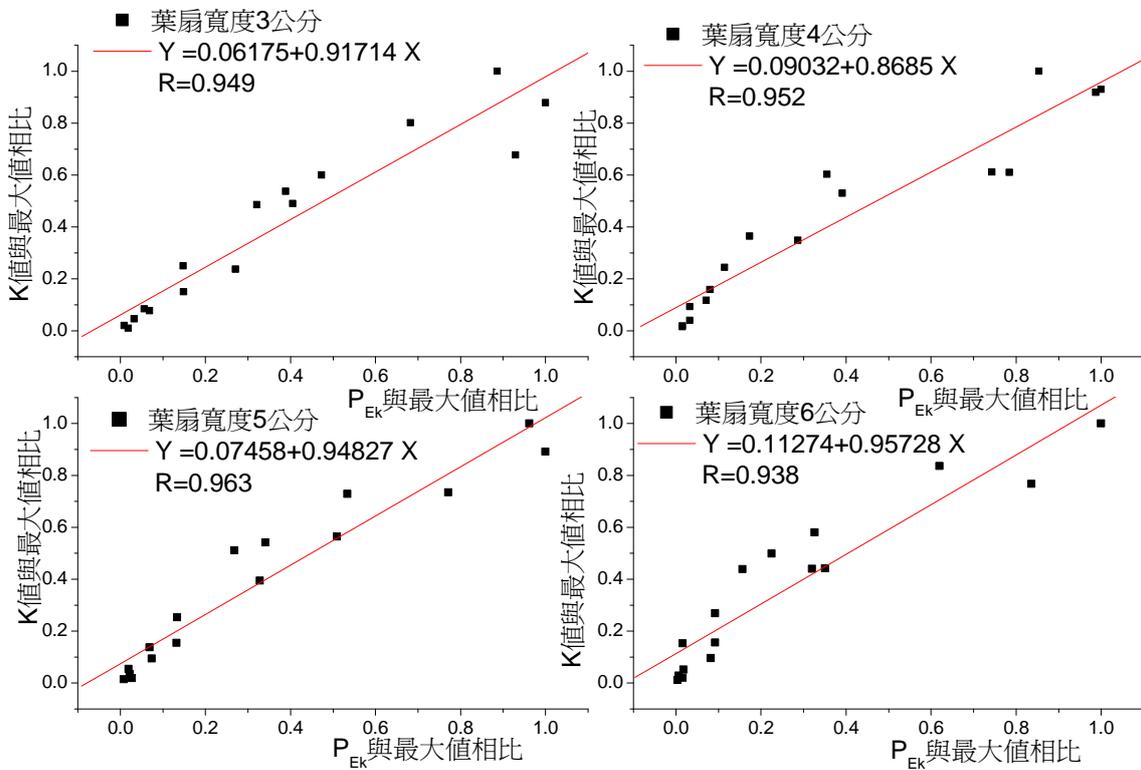


圖 5-7 相同葉扇寬度的情況下 k 值及 P_{Ek} 值之相關度分析

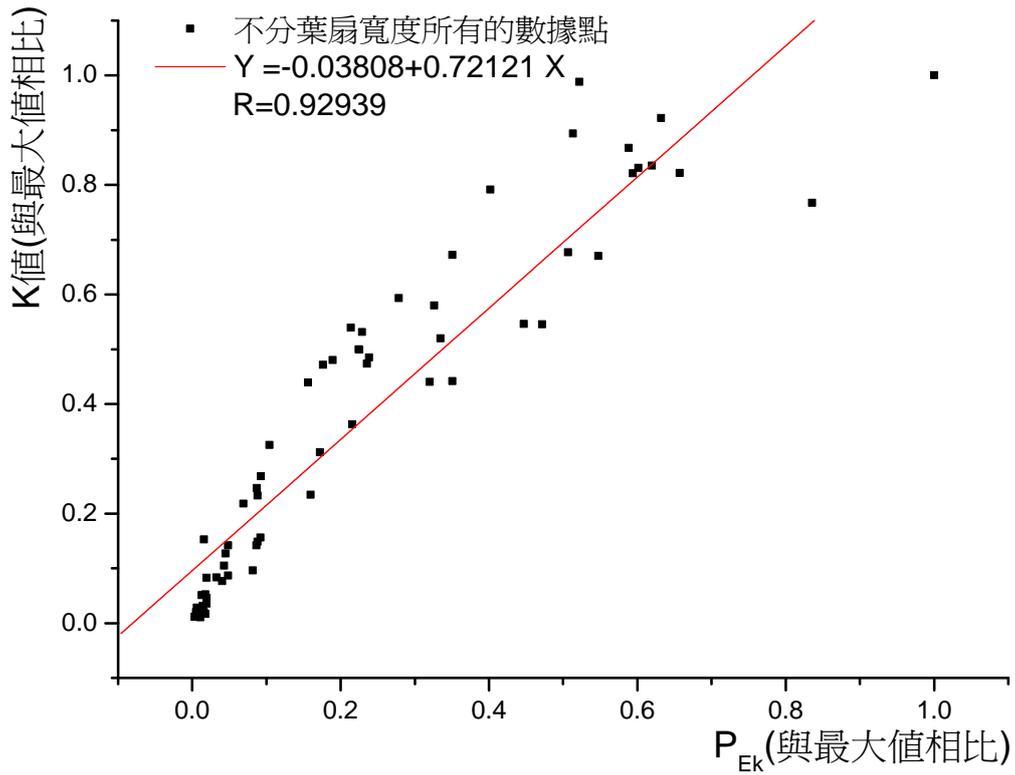


圖 5-8 不分葉扇寬度所有 k 值及 P_{Ek} 值之相關度分析

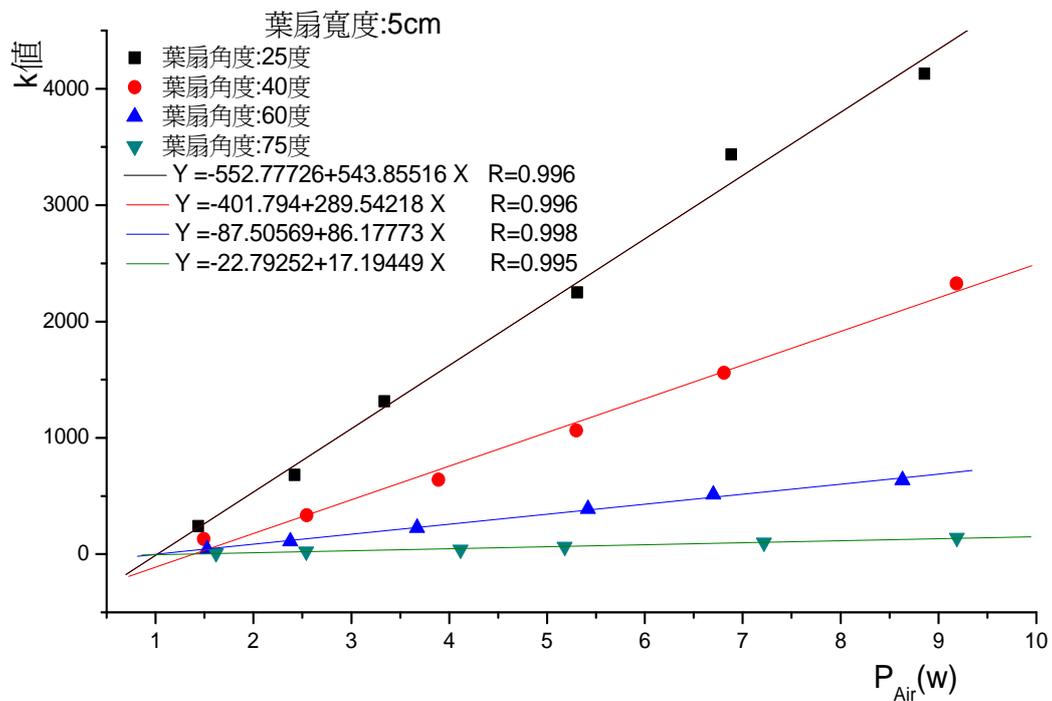


圖 5-9 固定葉扇角度及葉扇寬度，k 值及 P_{Air} 之關係圖

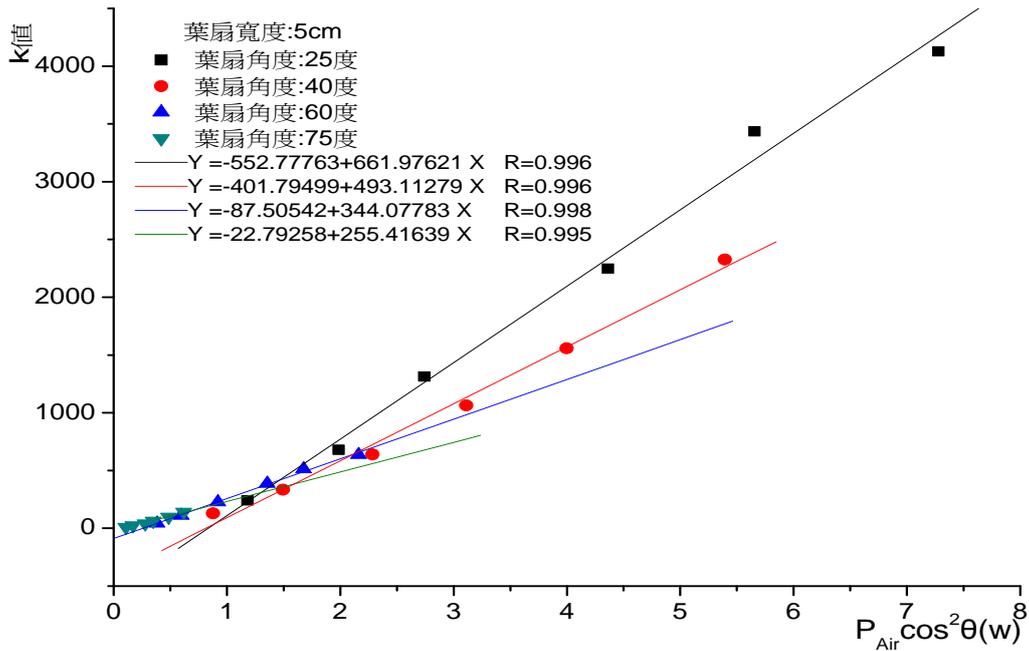


圖 5-10 固定葉扇角度及寬度，k 值及 $P_{Air} \cos^2 \theta$ 之關係圖

	輸入電壓	輸出電流	迴路電阻	測得轉速
原來電風扇扇葉測的相關數據	110V	0.272A	236Ω	25.54Hz
葉扇寬度 6cm、扇葉角度 25 度	110V	0.284A	236Ω	22.91Hz
	查表得到轉軸處消耗功率 (P_L)	與空氣分子碰撞消耗的功率 (P_{air})	$\frac{P_{air}}{P_{in}}$	輸出向前風力動能比例(與改造葉扇相比)
原來電風扇扇葉測的相關數據	4.38w	8.08w	26.99%	0.55
葉扇寬度 6cm、扇葉角度 25 度	3.19w	9.01w	28.85%	1

表 5-2 比較原來電風扇和葉扇寬度 6cm、葉扇角度 25 度之各項數據值

陸、討論

一、主題（一）討論：

(1) 在不同葉扇的寬度的 ΔP 值對轉動頻率的關係圖中的意義為何？

Ans: 在不同的關係圖中可以發現到改變葉扇的寬度則會有兩項因素改變，即葉扇的質量改變與和空氣接觸的面積改變，從圖5-1中發現此二因素改變並不會造成 ΔP 值有明顯的改變趨勢，所以我們認為平行葉扇方向之力帶動空氣分子產生的功率相當的小，在本實驗中忽略其影響，並且葉片質量在本實驗中造成的影響也忽略。

(2) 為何轉軸處消耗的功率會在約轉速為25Hz處突然陡升？

Ans: 我們根據查得的資料中，了解到家用電風扇多採用單相交流感應馬達。而在此種馬達的原理為，利用電磁感應對轉軸處的轉子產生轉矩而使得轉軸轉動，而轉軸的極速與磁場的變化頻率(交流電頻率)及馬達線圈極數有關[5][6][7]。本實驗採用的電風扇馬達的線圈極數為四極，極速為 30Hz。若將磁力分解為切線方向(切線力)和徑向(垂直力)，其中垂直力無法產生力矩也不作功，當馬達轉速超過 25Hz 後，其磁力延著徑向上的分量突然變大，造成功的浪費，故有此一特性曲線。

二、主題（二）討論：

(1) 每一個葉扇角度所對應的 $\frac{k}{P_{in}}$ 代表的意義為何？

從圖5-7及圖5-8中發現在電壓為110V情況下，k值和 P_{Ek} 值的相關度相當的高，且於圖5-6中發現k值和 P_{Ek} 值對角度的變化趨勢相似，所以我們認為 $\frac{k}{P_{in}}$ 值可以視為電風扇輸出向前風力之功率占整個輸出電能的比例係數，其數值越高代表真正的 $\frac{P_{Ek}}{P_{in}}$ 越大。

(2) 為何圖5-4中 P_{air} 和k值前半段的變化趨勢相似但是到達峰值之後其變化趨勢卻不同？

從我們這次實驗的心得中有下列幾點看法：

- (a) 在主題一中發現25Hz轉軸處消耗的功率陡升，所以在小角度時葉扇轉速較快，以產生的 P_{air} 值較小，此點可以由表5-1觀察到，到達峰值之前變化趨勢相似。
- (b) 在後半段於葉扇內緣的空氣分子被葉扇擊中後由於速度較慢，會被葉扇外緣再度擊中，直到空氣分子完全離開葉扇轉動時所拍打之空間。所以我們認為葉扇角度較大比較容易發生這樣的機制，故在我們推導出來的公式4-1中只認為空氣分子被擊中第一次之後就離開風扇，並未考慮再度被風扇擊中的機制，所以實際測得的 P_{air} 值可能有部份是因為多次和風扇碰撞所造成的，因此與圖5-4中後半段變化的區勢不同。

(3) 空氣分子和葉扇多次碰撞的結果造成電能輸出的浪費，浪費的比例如何呈現？

在圖5-9中發現到相同葉扇寬度及相同葉扇角度的情況之下，我們看到了一個線性的結果，而圖中的斜率代表的意義為 $\frac{k}{P_{Air}}$ ，我們可以說其實 P_{air} 值是多次碰撞量到結果，而k值為一次碰撞造成的結果，換言之如果斜率越大代表因為多次碰撞浪費的能量

越少，所以從圖5-9中我們看到了兩個結果：

- (a) 相同角度下和葉扇面積及葉扇和擊出空氣分子的速度比例固定下，多次碰撞造成的功率占實際輸出風力的功率是固定的，此點由圖型中相關係數接近1可以證明。
- (b) 在圖5-9中可以發現角度越大則斜率越小，所以此點同時可以驗證圖5-4中後半段變化的區勢不同，是因為由為我們量到 P_{air} 值有包含側向風力和多次碰撞的結果。

(4) 電風扇的葉扇面積和葉扇角度及葉扇的轉速，要如何設定方能使能源向前風力效率比較高？

從表5-4中分析原來電風扇的葉扇造成的風力功率及改造過後的葉扇(長10cm、寬6cm葉扇角度25度)的相關數據了解到：

- (a) 整個風洞測試向前風力的動能、 P_{Air} 值與 $\frac{P_{air}}{P_{in}}$ 值均以改造過後的葉扇較大。
- (b) 輸出向前風力動能的功率以原來電風扇的葉扇較小。

分析原因可以很清楚的發現，是因原來風扇的轉速較大，使其在轉軸處消耗的功率較大，所以造成能量的浪費。再根據前面的討論，可以知道如果角度變大，則可能造成多次碰撞能量的浪費。所以，我們認為如果原來葉扇角度變大一些(約不能超過35度)，或者增加葉扇面積(長度、寬度變大)，都可以降低轉速避免轉軸處能量消耗，而且因多次碰撞所浪費掉的能量也不會太大。

柒、結論

1. 在主題(一)中，我們發現轉軸處消耗能量的功率在頻率為25Hz處有突然增大的趨勢，所以葉扇為小角度時因轉速過大，導致 P_{Air} 值較小，也使得向前風力動能效率比較差。
2. 在主題(二)中，由 $\frac{k}{P_{in}}$ 值和 $\frac{P_{air}}{P_{in}}$ 對照並不相符，第一個原因是在葉扇角度大時空氣分子經碰撞後速度的向前分量較小，另外，我們推測葉扇與空氣分子因多次碰撞，也會造成部分能量的浪費，導致葉扇在大角度的時候產生向前風力的動能比較差。
3. 依據上述兩點，我們發現馬達轉速及葉扇角度過大或太小，對輸出向前風力都不佳。如欲避免能量浪費則需調整葉扇角度使馬達轉速控制在25Hz以下，根據實驗數據，我們得到在這四種不同葉扇面積其輸出向前風力動能的最佳值其所對應的角度及轉速如表7-1所示：

葉扇寬度(cm)	最佳角度範圍(度)	轉速範圍(轉/秒)
3	25~35	22.66~25.26
4	25~35	19.19~24.66
5	20~30	19.87~25.79
6	20~30	15.75~26.03

表7-1 向前風力動能的最佳值所對應的角度及轉速

4. 從圖5-6中，我們發現發現理論k值和 P_{Ek} 值對角度的變化趨勢相似，所以我們認為 $\frac{k}{P_{in}}$ 值可以視為電風扇輸出向前風力之功率占整個輸出電能的比例係數，其數值越高代表真正的 $\frac{P_{Ek}}{P_{in}}$ 越大。

捌、 未來展望

在有限資源的地球村，小小的人類卻有著無限的慾望，當我們在毫無預警的情況下，地球的資源什麼時候遇到浩劫？人們無從得知。但我們能做的，就是在有限能源下，盡力減少過多的損失。那麼我們就得從小地方做起，而小地方就是我們的日常家電。希望我們著手於電風扇的研究，也可以對節能運動有所幫助。將來，我們可以利用電扇減少冷氣的使用量。如此一來，對環境及資源的破壞也就相對的減少。那麼也就可以達到永續經營的目的了！

玖、 參考資料及其他

- 一、林明瑞、張仁昌、劉國棟、劉怡君（民 96）。**基礎物理**（166-168 頁）。台南市：南一。
- 二、褚德三（民 96）。**物理(上)**（193-196 頁）。高雄市：龍騰。
- 三、林明瑞、張仁昌、劉國棟、劉怡君（民 96）。**物理下冊**（136-153 頁）。台南市：南一。
- 四、林明瑞、張仁昌、劉國棟、劉怡君（民 96）。**基礎物理**（95-98 頁）。台南市：南一。
- 五、洪芳州（民 88）。**電動機技術應用百科**（15-19 頁）。台北市：全華。
- 六、許允傑（民 83）。**馬達控制**（472- 477 頁）。台北市：全華。
- 七、顏吉永、張國財（民 84）。**電機學**（444-450 頁）。台北市：全華。
- 八、黃胤滉、盧怡利、陳建利（民 97）。**物理下冊**（02- 09 頁）。台南市：南一。

【評語】 040103

能從生活中尋找有意義的研究主題。唯風扇葉片形狀像長方形，與實際電扇形狀差距較大。