

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 物理科

佳作

030103

圈圈來風？ ~ 風透鏡對風力發電之探究

學校名稱：高雄市立國昌國民中學

作者： 國二 黃立維 國二 吳晟菖 國二 陳柏軒	指導老師： 陳惠玲
---	------------------

關鍵詞：風透鏡、翼尖小翼、風力發電

摘要

本篇報告**初階實驗**發現前小後大的環(風透鏡)，放在扇葉後方比前方效果佳(研究一~四)。**進階實驗**探討扇葉後方加裝各種風透鏡，發現後方口徑邊緣有凸起，有更大的發電效果(研究五)。做連續測試將皆可放大風效的兩風透鏡結合成雙環，發現效果最好的依然是單一有凸起的後方風透鏡，偏離預設的雙環結合(研究六)，最後我們測試風透鏡前後風速，透過流場顯像，做出氣流運動模型，解釋風速放大實驗結果。最後針對風速與發電電壓，討論出有凸起的風透鏡發電效率約為 1.7 (研究七)。

綜合以上，以風透鏡為探究主軸，以簡單器材實際動手做，從實驗觀測切入學理，希望能以小風吹扇葉，發電效益卻可如同大風吹一樣。

壹、研究動機

炎炎夏日，常會傳出台灣缺電的危機，在反對興建核四的聲浪之中，綠能源的發展已是不可或缺。季風盛行的台灣，風力發電的密度已經是世界第二，但礙於季風交替以及地形等因素使得發電不穩定，且因為風小的關係發電機也不易轉動，政府在風力發電上並沒有有效的方法。

而在 2015 年的新聞上，我們無意間看到日本發明出一種成本不高，發電效率卻可以達到傳統風力發電機 2-3 倍的「風透鏡發電機」(參一)，它神奇的效果引起同學間的討論，才一個環，放在扇葉前後，不論大小遠近，對發電是如何影響？零星資訊拚不出全貌，還是有許多疑問，於是我們決定自製風透鏡，探索對扇葉發電的影響。

貳、研究目的

扇葉前置環基礎探索

- 研究一 整流罩對發電電壓影響
- 研究二 探討前置環對發電電壓影響(環距、環半徑、環寬度)
- 研究三 風源位置的不同對發電電壓影響(風源距離、風源橫向偏移)
- 研究四 環前後口徑不同對發電電壓的影響

扇葉後置環進階探索

- 研究五 探討後置風透鏡對發電電壓影響
- 研究六 綜合前面實驗的結果，嘗試做出風電效益最高的風透鏡

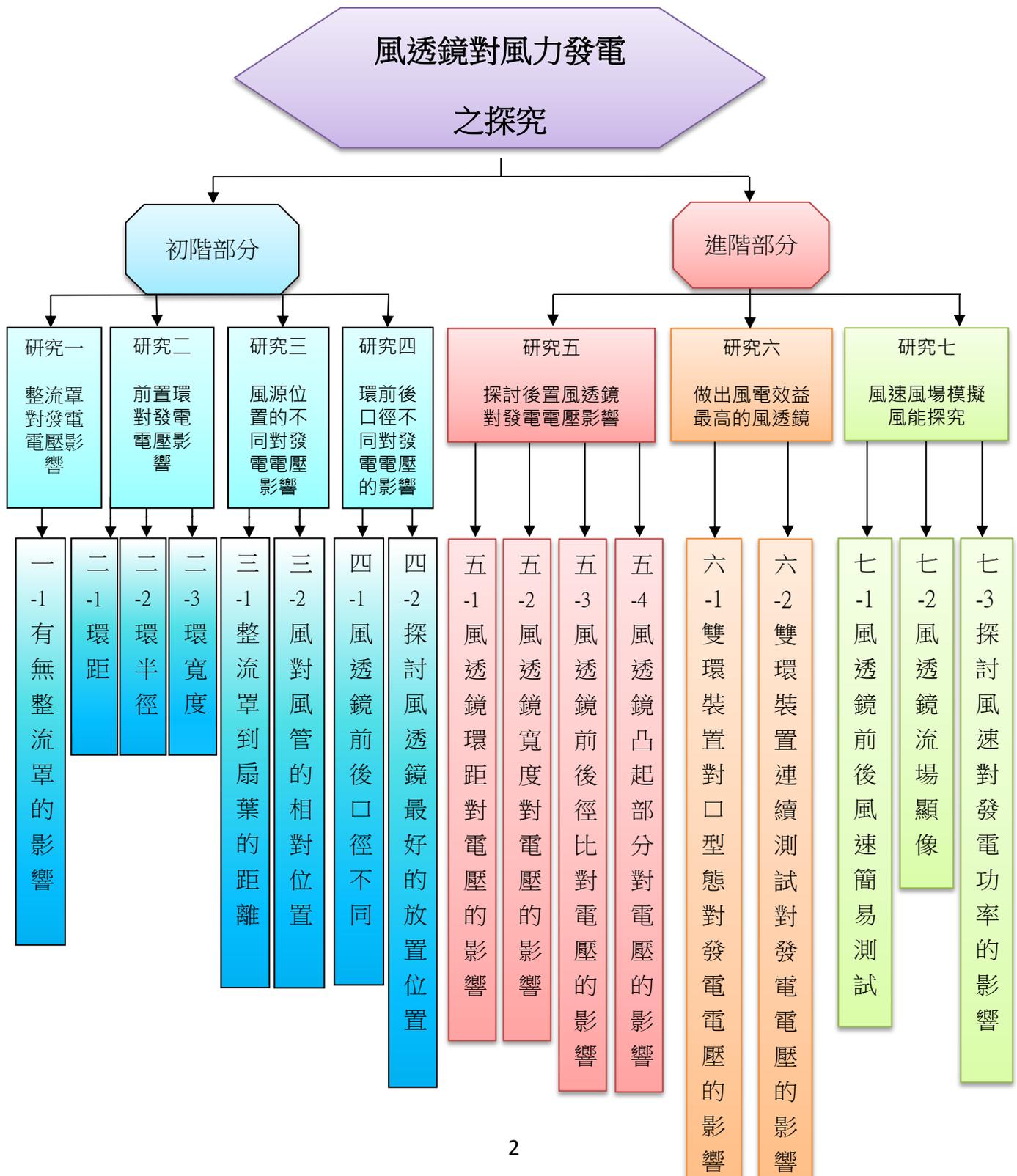
風透鏡氣流運動模型重塑

- 研究七 風速風場模擬風能探究

參、研究器材裝置

實驗器材：玩具扇葉、三用電表、小馬達、桌子、剪刀、捲尺、黑色膠布、透明膠帶、吸管(當整流罩)、架環的支架、工業用電風扇一臺、寬度、半徑、各種不同變因的風透鏡。水霧機一臺、透明的風透鏡、隨身風扇一臺、透明投影片。

肆、研究方法與思路架構



伍、研究過程(步驟、結果、分析、發現與立即討論)

第一部分：整流罩對發電電壓影響

實驗(一)：有無整流罩的影響

- 步驟**：1.把兩包珍珠吸管切去尖緣，整束固定，置於扇葉前方 10 公分處，觀察電壓變化。
- 2.再把整流罩拿開，觀察電壓變化。

結果：

有整流罩相較於無整流罩，電壓雖然稍低，但是高低風力落差較小相對穩定(圖 1)。

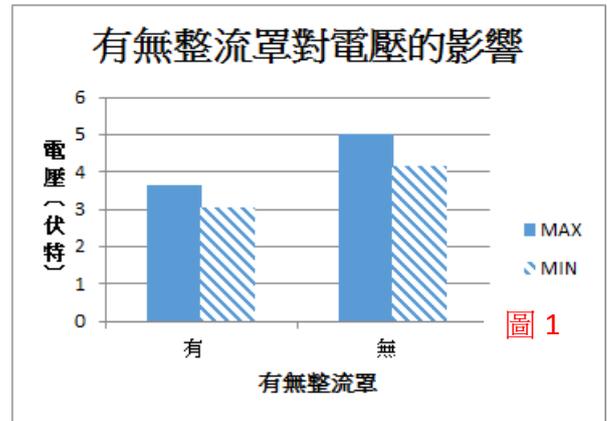


圖 1

※圖表顯示有整流罩的數據較穩定，有整流效果。

※往後的實驗皆有加整流罩，長度修正為半隻吸管使籠罩面積放大，也增加流速。

第二部分：探討前置環對發電電壓的影響

實驗(二)-1：環距對發電電壓的影響

步驟：

1. 將扇葉(相當於發電機)與環固定於桌面，並與三用電表相連。
2. 把 9.7cm 長的整流罩至於扇葉前，並在中間預留一小段空間。
3. 至電風扇(風源)於距整流罩 100 公分處，移動半徑 4 公分寬 3 公分的環至距離扇葉 0、3、6 公分處，觀察一分內發電電壓最高與最低值。



圖 2

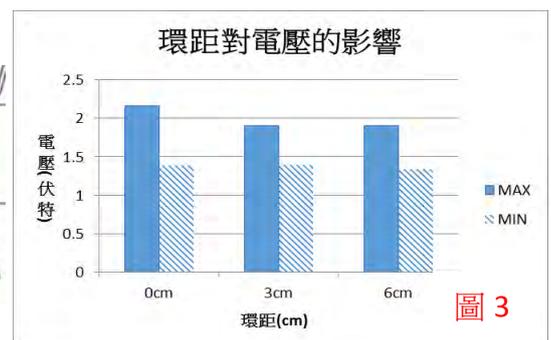


圖 3

結果與討論：

1. 環距在 0 公分(與扇葉切齊時)，效果最佳。
2. 從 3 公分和 6 公分的數據得知，若環距太大，環的聚風的效果就會消失。

※往後實驗以環距 0 公分做實驗

實驗(二)-2：環半徑對發電影響

步驟：

1. 準備半徑 4、5、6 公分寬度 4 公分的環(圖 4)，放入實驗(一)裝置
2. 觀察一分鐘內的發電電壓最大與最低值。



圖 4

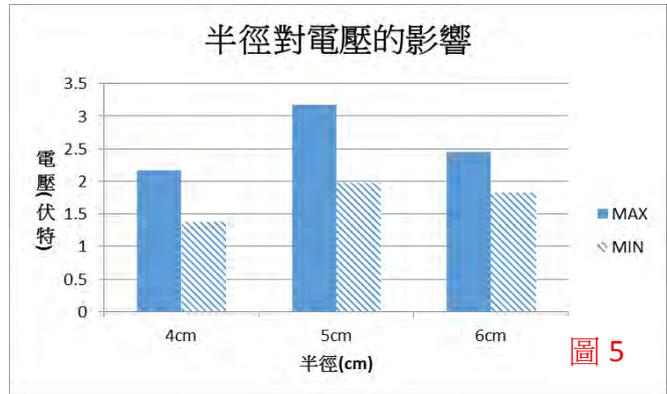


圖 5

觀察與討論：

1. 風透鏡半徑在 5 公分時，效果最佳(圖 5)。相對於發電扇葉大小，環太小，聚風不夠多，環太大，聚風效果不佳。
2. 對於扇葉 2.7 公分的半徑而言，半徑放大 1.85 倍的 5 公分風透鏡效果最好。

※因此往後實驗以半徑 5 公分做實驗

實驗(二)-3：環寬度對發電影響

步驟：

1. 準備 2、4、6 公分不同寬度，半徑為 5 公分的環，放入裝置，如圖 6。
2. 觀察一分鐘內的發電最大與最低值。



圖 6

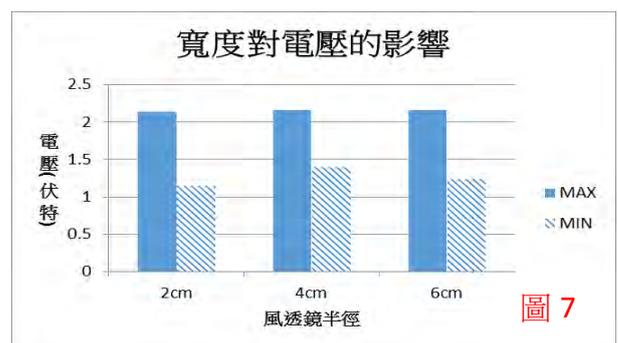


圖 7

觀察與討論：

1. 環寬度對發電電壓無太大影響。

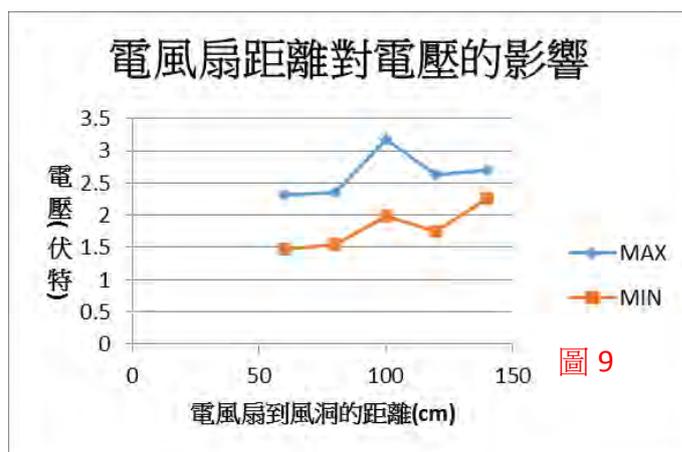
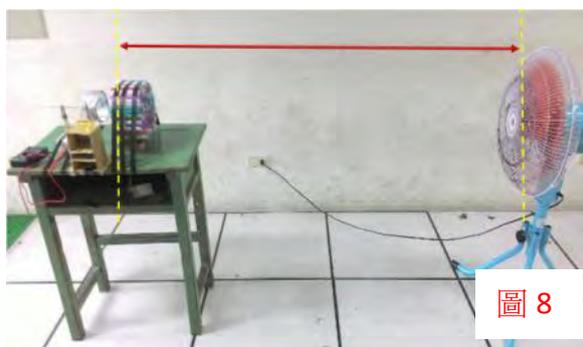
※往後其他實驗前置環，皆以環距 0 公分、半徑 5 公分、寬度 4 公分的規格做實驗

第三部分：風源在不同位置影響探討

實驗(三)-1 探討整流罩到風源風扇的距離是否影響其發電效益

步驟：

1. 先將扇葉、前置環置於桌上固定好，並將電線固定於電表上。
2. 將整流罩置於扇葉前方，並在中間預留一小段距離。
3. 將工業電風扇的軸心平行整流罩圓心，並測量其與整流罩及扇葉之間的距離。(圖 8)
4. 藉由改變風扇到整流罩的距離 60cm、80cm、100cm、120cm、140cm，觀察發電電壓的變化。(取 1 分鐘內發電電壓最高點與最低點)



觀察與討論：

1. 風源風扇越近，發電電壓並不如原本預測的越大，高低電壓顯示相當不穩定。
2. 風源距離似乎沒有明顯的關係，但電風扇越遠，電壓微量提升，且穩定度也提升了不少。
3. 此現象我們猜測是風源風扇前端的品牌風板導致，在 100 公分距離有最大風量。

※往後皆以風源在整流罩前 100 公分距離處做實驗

實驗(三)-2 風源對風管的相對位置

意義：電風扇的中心有一部份是不會有風的，藉由此實驗探討不同相對位置的風扇是否對發電電壓有影響。

步驟：

1. 承實驗三-1 小型風扇、前置環、整流罩位置皆不更動。
2. 改變軸心對齊整流罩圓心的相對位置，將風源風扇偏離整流罩圓心(圖 11)左方 5cm、10cm、15cm、20cm，測量 1 分鐘內發電電壓之最高點級最低點。

實驗結果：

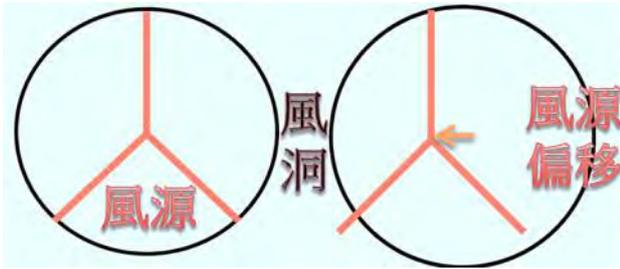


圖 10

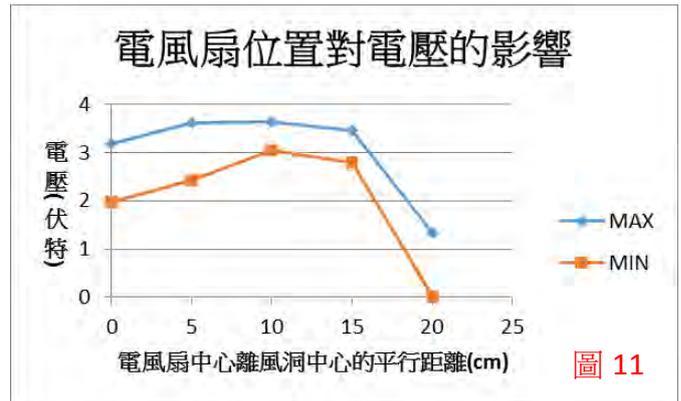


圖 11

觀察與討論：

1. 軸心 0 cm 未偏離前，發電電壓明顯比偏離 5cm 時弱，代表風扇防護罩中央檔板對氣流有削減的影響。
2. 20 公分已經太遠，超過風源風扇邊緣，因風量不足而使扇葉停下來。
3. 風源平行移動，在扇葉範圍之內，對於最高發電電壓影響不大。

※因此往後實驗我們依然選擇風源正吹(直到進階實驗拿掉電風罩)

第四部分：風透鏡前後口徑不相同之探討

實驗(四)-1 風透鏡前後口徑不相同

步驟：

1. 小型風扇、整流罩位置皆不更動。
2. 如圖 12，將風透鏡口徑改為前大後小(A)、前小後大(B)兩組，內外徑分別為 8、10 公分，環寬為 4 公分，環距為零。

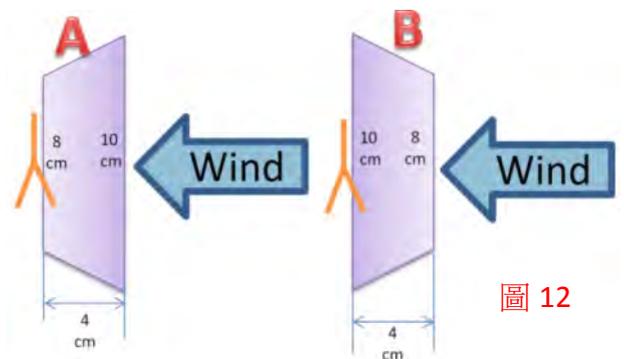


圖 12

結果：

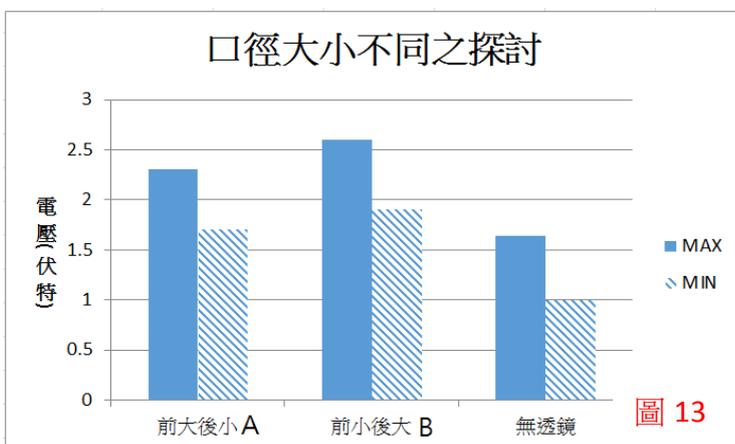


圖 13

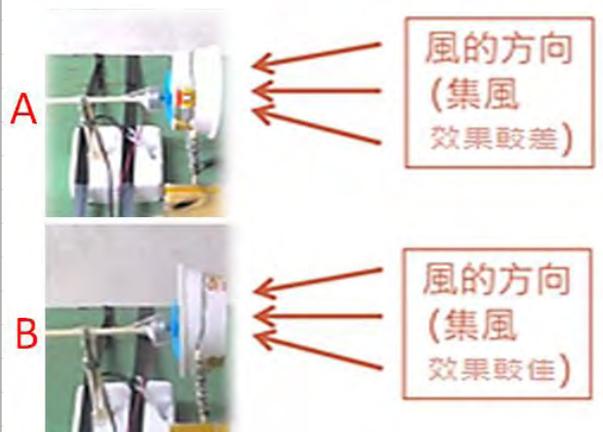


圖 14

討論

1. 對照無風透鏡，有風透鏡的發電電壓，明顯比沒透鏡的高很多。
2. 其中，口徑前小後大的 B 風透鏡比起前大後小的 A 發電電壓高不少，此口徑不同，僅是翻轉，風透鏡測出的數據跟我們預想的集風效果相反，B 透鏡除了集風之外，應該還有其他功能。

實驗(四)-2 藉由效果較好的前小後大風透鏡，環距為 0，來尋找風透鏡最好的放置位置

步驟：

1. 實驗裝置如實驗(四)-1。
2. 把前小後大的風透鏡，置於最前、中央、和最後面（如圖 16），觀察電壓變化。

結果：

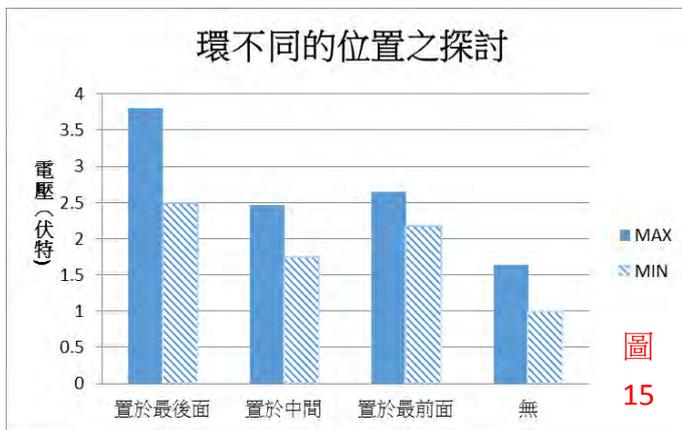


圖 15

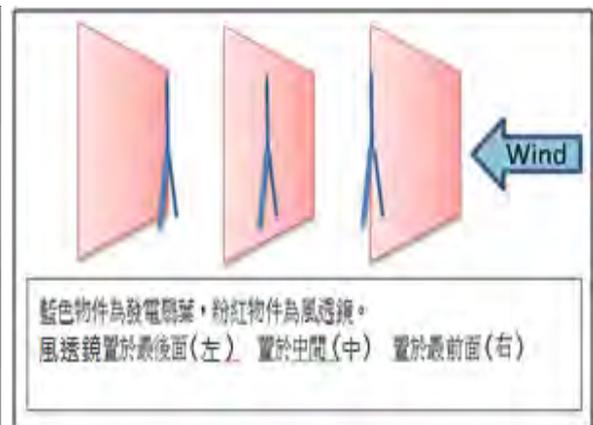


圖 16

討論：

1. 風透鏡設置於中間或前面效果較差，風透鏡移動到在扇葉最後面（環距為 0）時，轉速明顯加大。
2. 用白努力原理來解釋，擴散的形狀讓空氣在扇葉後膨脹造成低氣壓，前方湧入更大風量。此時才發現風透鏡原理，類似理化影片中，窮人的冷氣機影片中，那寶特瓶口後方氣流膨脹造成低壓的原理。

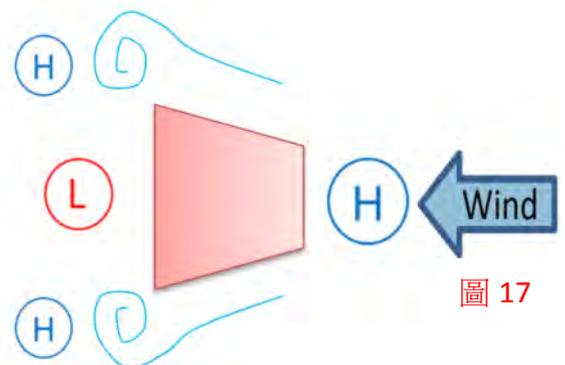


圖 17

※因此往後實驗我們選擇前小後大後置風透鏡進行研究

第五部分：探討後置風透鏡對發電電壓影響

緣起：在前半段做到最後一個實驗 4-2，我們才知道，風透鏡是白努力原理的應用。仔細比對日本官網，才發現我們前半段探索，意外的將風透鏡放扇葉前方，也發現可以增大風量。而日本官網的風透鏡是多了一個凸起放扇葉後方。這又是甚麼原理？我們從實驗著手，繼續探索後置風透鏡的變因，並將前方後方風透鏡彙整，期待找出小風源大風吹的秘密。

實驗(五)-1：風透鏡後環距對發電電壓的影響

步驟：

1. 使用整流罩，且將風源電風扇的風罩拆除，置電風扇(風源)於距整流罩 100 公分處，並測量無風罩的無透鏡電壓數據。
2. 將扇葉(相當於發電機)與環固定於桌面並將三用電表連至扇葉。
3. 移動寬 5.5 公分的環至距離扇葉中心 3、0、-3、-6、-9 公分(負數即是環到了風扇後面)處，如圖 19，觀察一分內發電電壓最高與最低值。

結果：無風罩無透鏡對照發電電壓：最大 2.75V，最小 1.51V

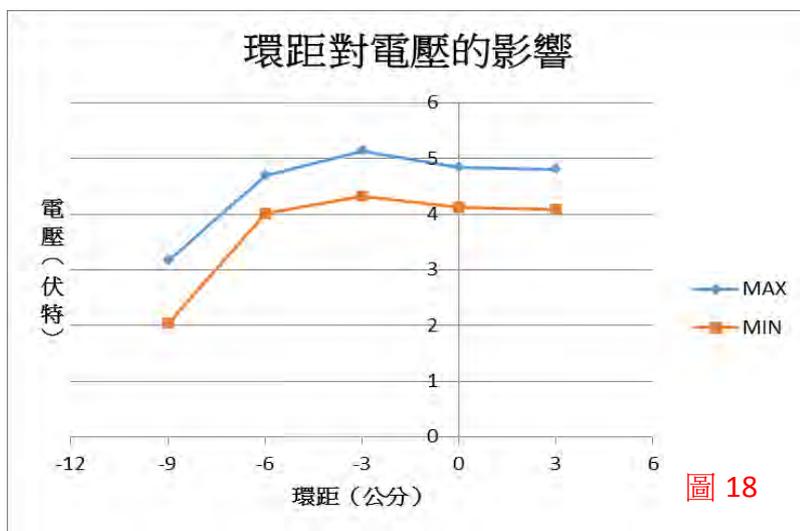
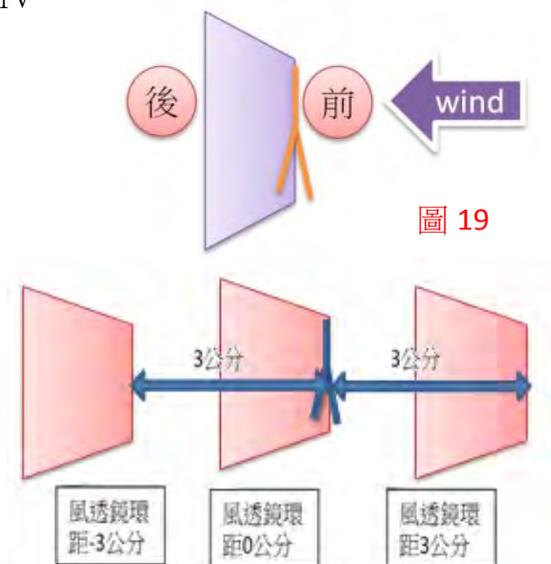


圖 18



討論：

1. 風源電風扇的風罩拆除，盡量避免卡門渦街，縮減大小電壓差距。
2. 風透鏡放在扇葉前方，較像單純聚風，但是放在後方，是利用擴大的氣流造成低壓，引發較大的風源吹入，可是放到太後面 9 公分處，效果已經減弱很多。
3. 由圖表能得知風透鏡在小風扇後面 3 公分(即-3 公分)時，發電電壓最大。而當風透鏡在扇葉後面 9 公分時(即-9 公分)，發電電壓最低，但是都比無風透鏡(2.75V，1.51V)大很多。

※風透鏡放後方 0-3 公分，前小後大的風透鏡，能增強白努力原理，大增發電電壓。

實驗(五)-2 風透鏡寬度(剪寬口)對發電電壓的影響

步驟：

1. 將扇葉(相當於發電機)與環固定於桌面並將三用電表連至扇葉。使用整流罩，且將風源電風扇的風罩拆除，置電風扇(風源)於距整流罩 100 公分處。
2. 在環距為 0 的地方，置窄口徑 6cm 寬口徑 9 cm，長 14 公分的風透鏡，開口朝後，測發電電壓，環從寬口處每次都剪掉 2 公分，測量發電電壓……直到環還剩 4 公分。

結果：

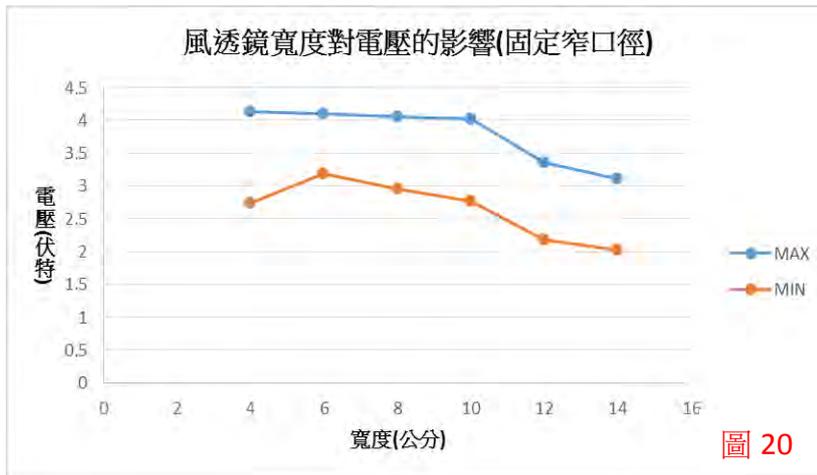


圖 20

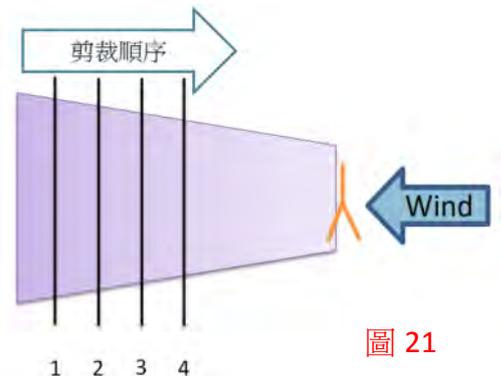


圖 21

討論：

風透鏡寬度短到長，發電電壓遞減。寬度越長，風透鏡白努力原理引發風流的加乘效果，會漸漸弱，但是都比無風透鏡(2.75V, 1.51V)大很多。在風透鏡剪到寬度 4-10 公分時，風源放大效果有較好的呈現。

※後置風透鏡寬度 4-8 公分，風力的白努力增強效果較佳。

實驗(五)-3：風透鏡前後徑比對電壓影響

步驟：

1. 將實驗器材置於桌上並將電線連至電表。將整流罩置於離扇葉 10 公分處。
2. 以環寬度規格皆為 8 公分，窄口端皆為 7 公分，改變前後直徑比為 7：9.5、7：10.5、7：11.5，讀取發電電壓。並觀察一分鐘內電壓最大與最小值。



寬口窄口直徑比

圖 22

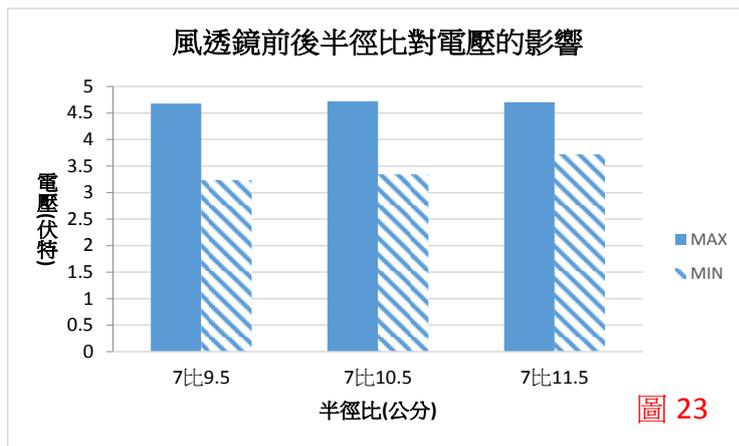


圖 23

結果：

風透鏡前後徑比對於風力的影響，我們發現電壓最大值，三者差異不大，而電壓最小值則是以直徑比 7：11.5 較高，表現較穩定。

※後置風透鏡大小口比例大的環，風力增加影響不大，但穩定度增高。

實驗(五)-4：風透鏡凸起部分(邊緣 Brim)對電壓的影響

步驟：

1. 先將實驗器材上固定好，並將電線固定於電表上。
2. 使用整流罩，並將風罩移除，測量無風罩空白對照發電電壓。
3. 採用直徑 7：10 寬度 6 公分的風透鏡 5 個。
4. 分別製成凸起 0、0.5、1.0、1.5、2.0cm 的風透鏡，測量實驗結果。

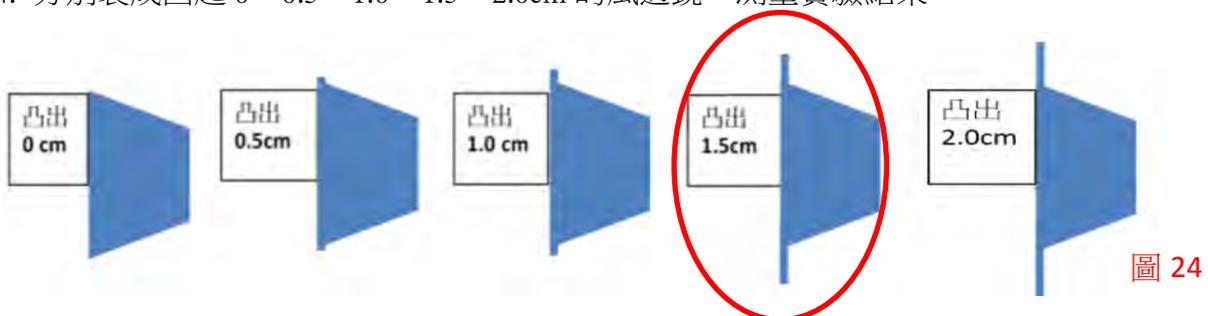


圖 24

結果：當日無風罩無透鏡對照發電電壓：最大電壓 3.74V，最小電壓 1.98V

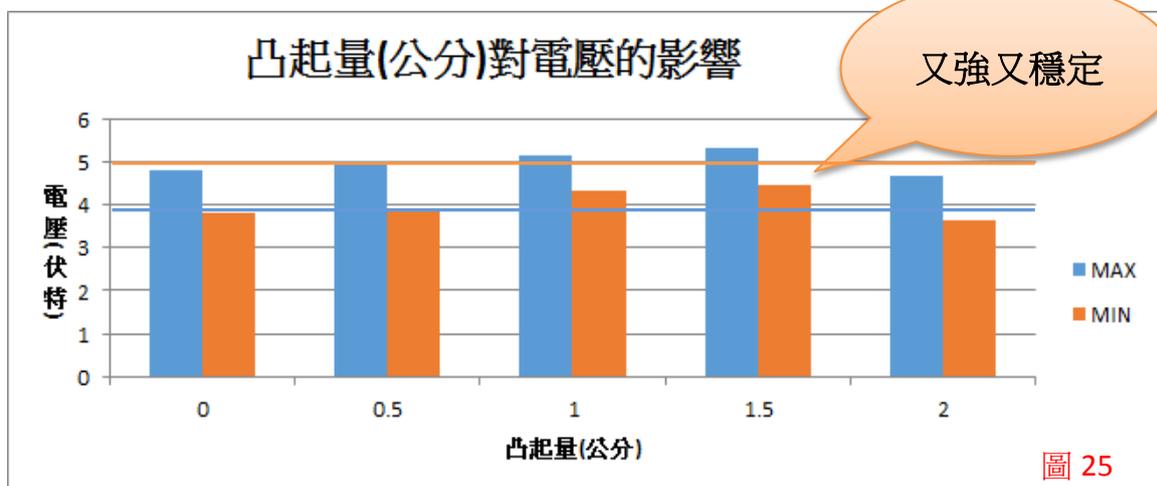


圖 25

1. 在凸出 0cm 到 1.5cm，發電電壓漸漸提升，而在凸出 1.5 公分時風透鏡最大最小發電電壓皆是最高的，且穩定度也提升了。
2. 但在凸出 2 公分時發現數據下降，推測凸出裝置在一定範圍內可以使發電電壓提升，超出後會失去增風效果。

立即討論：

1. 這個環的設計是模擬日本風透鏡官網原理製成的。
2. 推論增風原理：風透鏡外開的形狀，讓後方形成低壓，風力大增，卻也會造成外部氣流捲入干擾(如圖 26)，凸起的部分因能阻止外部繞流入內干擾的氣流，進而讓通過風扇的風力增強。

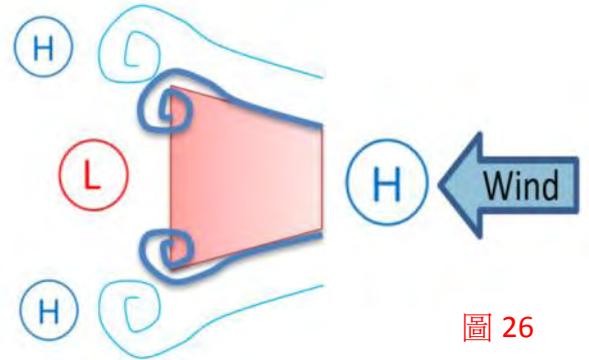


圖 26

※後置風透鏡如翼尖小翼的凸起，可以阻擋後方捲入的氣流，確實可以增大進風量。

第六部分：綜合結果，做出風電效益最高的風透鏡

緣起：
我們從前五部分實驗中漸漸了解風透鏡每一部分的功效細節，在此我們循序結合每一部分的連續影響直到「雙環裝置」~在後方風透鏡的基礎下，再添加也有增風效果的前環風透鏡，想知道是否能造成更強的發電，測試如下。

實驗(六)-1 雙環裝置對口型態對發電電壓的影響 (基礎測試)

步驟：

1. 先將實驗器材置於桌上固定好，並將電線固定於電表上。
2. 使用整流罩，並將風罩移除。
3. 使用實驗 6-2 凸起 1.5cm 風透鏡與實驗 5-2 厚度 6cm、直徑比 7：10 的風透鏡。
4. 將後環放置於 0 公分處，如圖 28 前環分 A、B 兩組放置。
5. 固定兩環間距為 0 公分。

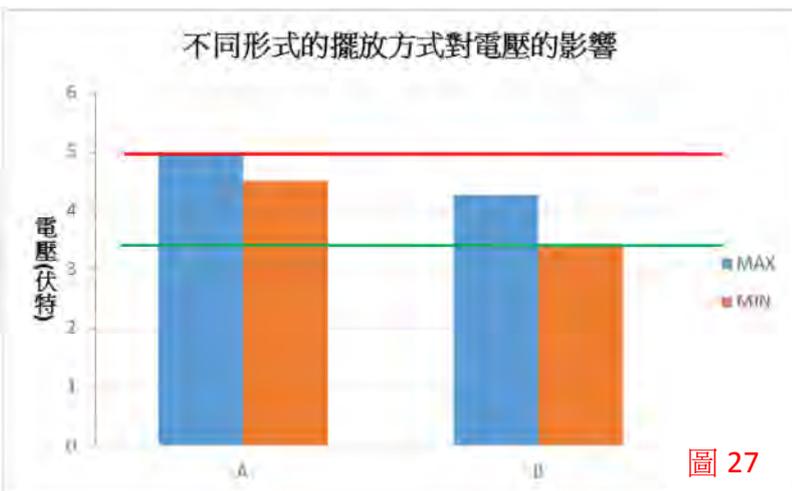


圖 27

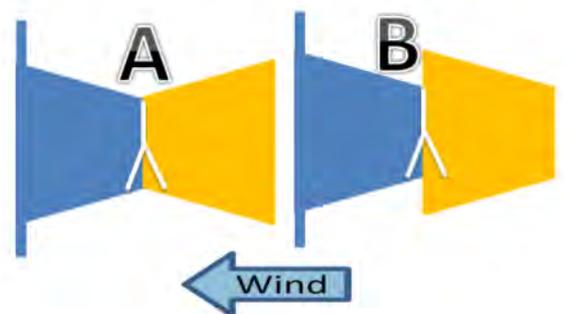


圖 28

討論：

1. 在實驗(四)-1 的測試中，已知前方環有 AB 兩種裝法(如圖 28)，其中以 B 前方環在單獨測試時，效果較佳。但是將前方環與後方環合併，發現 A 型態比 B 型態效果佳。
2. 推測 B 型態儘管前環能有大風速，但是外擴的形狀，使後環進風量大減。而 A 型態的前環，雖少了白努力原理的風量放大效果，卻發揮集風的功能，使組合環能有較大的風量。

※我們雙環對口選擇 A 型態，進行最後一組實驗測試(六)-2。

實驗(六)-2 雙環裝置連續測試對發電電壓的影響

步驟：

1. 先將實驗器材置於桌上固定好，並將電線固定於電表上。
2. 使用整流罩，並將風罩移除，測量無風罩空白對照發電電壓。
3. 製作半徑 7：10、厚度 6 公分、不含凸起的風透鏡，改變環距-6、-3、0cm，測量電壓。
4. 再加凸起裝置 0.5、1.0、1.5cm，測量電壓。
5. 再添加一個半徑 7：10、厚度 6 公分前環，前環環距從 9cm 拉回到 0cm，直到雙環合併，測量電壓。

結果

無風罩無透鏡對照發電電壓：最大電壓 3.74V，最小電壓 1.98V

	數據1	數據2	數據3	數據4	數據5	數據6	數據7	數據8	數據9	數據10
	改變後環距			加突起翼尖小翼			加前環改變環距			
後環距(cm)	-6	-3	0	0	0	0	0	0	0	0
寬邊凸出(cm)	0	0	0	0.5	1	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
前環距(cm)	無	無	無	無	無	無	9	6	3	0
最大電壓 $V_{MAX}(V)$	4.43	4.82	5.13	5	5.12	5.32	5.21	4.2	5.1	4.96
最小電壓 $V_{MIN}(V)$	3.23	3.63	3.98	3.9	4.33	4.46	4.72	3.76	4.12	4.27

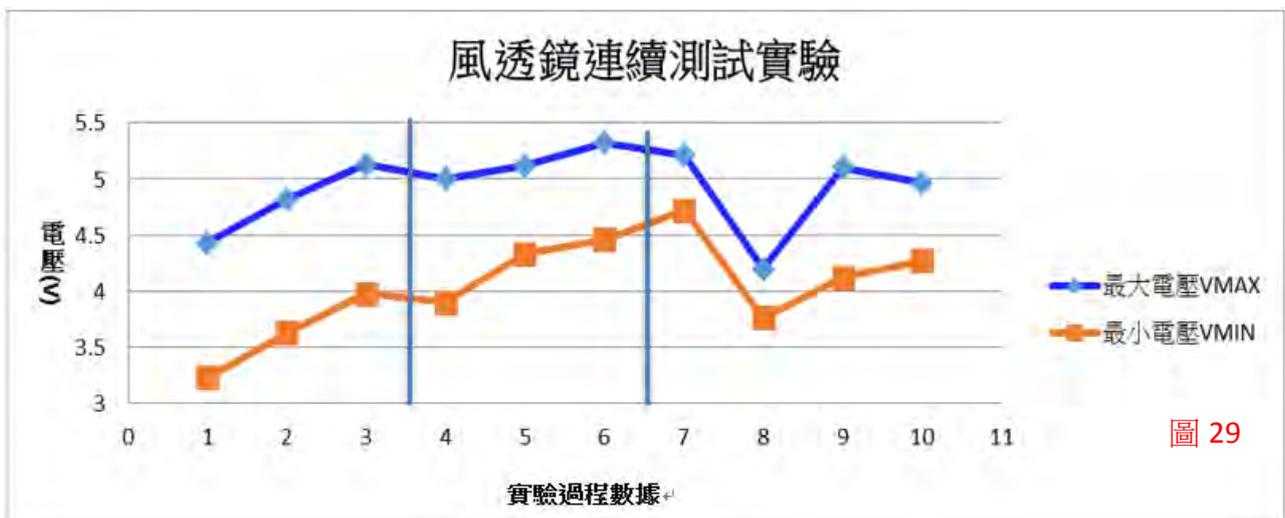


圖 29

觀察：

第 1 部分：改變後環環距從數據上可以看到當後環風透鏡距離扇葉間 **0 公分**，最大發電電壓從原本的 **4.43v** 提升至 **5.12v**，且最大發電電壓與最小發電電壓之間的穩定性最好。

第 2 部分：增加凸起翼間小翼的裝置，測到了整個第六部分最大的發電電壓 **5.32v**，使用的是**凸起 1.5 公分的環**，且有添加凸起裝置的風透鏡實驗數據最高與最低的發電電壓落差也比第一部分來的較小。

第 3 部分：將**凸起 1.5 公分**的環裝置在**扇葉 0 公分處**，加入第一部分能提升風量的前方環，希望能達到結合加乘的功效。但從數據上看，前方環並沒有使發電電壓提升，反而讓數據下降變得不穩定。

第 3 部分討論：

1. 前環距離扇葉 0 公分時穩定度是最好的，推測前面的環把亂流集中使其成為穩定的風流。
2. 加上前方環並無增加發電量，風力反而被減弱，我們推測前環把大部分的風擋掉了，所以即使前環與後環都有很好的有集風效果，也無法與後環相搭配，發揮最大功效。

小結論：

1. 前後環相結合，環距為 0 時，發電電壓雖不是最大，卻有相當穩定度。
2. 從數據上可以看到凸起的公分數越多時，發電電壓有明顯的提升，**數據有最大電壓 5.32V** 比起完全不加風透鏡的對照數據 **3.74V** 整整高出 **1.42** 倍，換算發電功率高達原來的 **2** 倍。

※單一一個有凸起的後置風透鏡，比加了前方環的組合風透鏡，有更大的發電效率！！！！

第七部分：風速風場模擬風能探究

緣起：我們已經知道，含有凸出裝置前大後小的風透鏡能提升最多發電量，但還是不明白風透鏡內細部氣流的原理。想要知道造成實驗結果的氣流快慢與走向。因此，我們再加入了「風速大小」與「流場顯像」的元素，觀察推論神奇的放大效果，做出模型，並探討風透鏡效率。

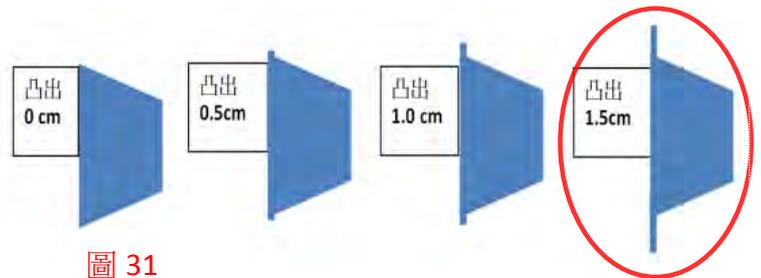
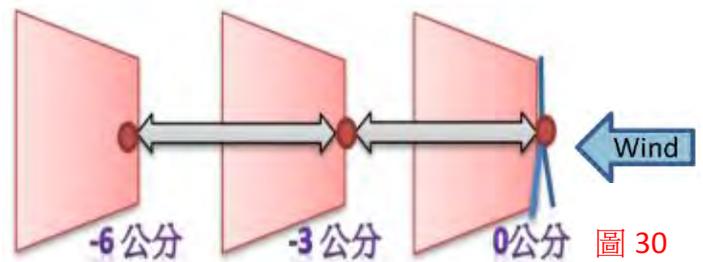


圖 31

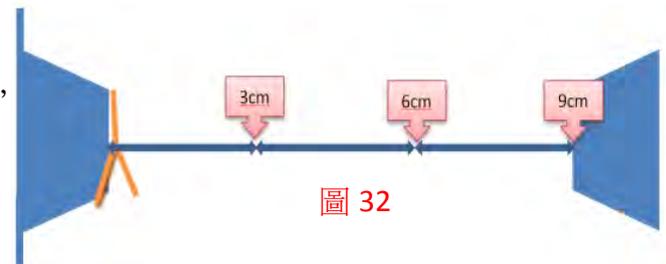


圖 32

實驗(七)-1 風透鏡前後風速簡易測試

步驟：

1. 將風源風罩移除，固定風源，以風速計測量整流罩後 10 公分自然風速。
2. 取半徑 7：10、厚度 6 公分、不含凸出的風透鏡，依前大後小、前小後大的順序放置定位，測前、後口徑所在風速大小。
3. 取上述規格的風透鏡。加上 1.5 公分的凸起，重複步驟 2。

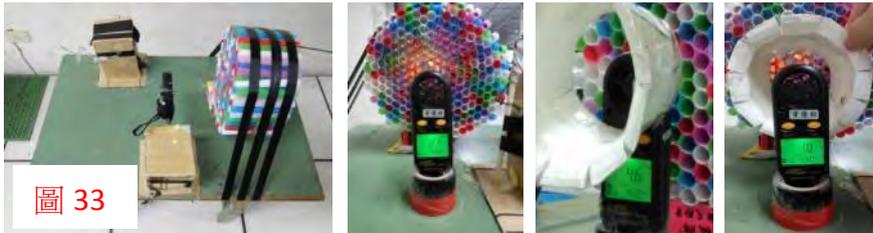


圖 33

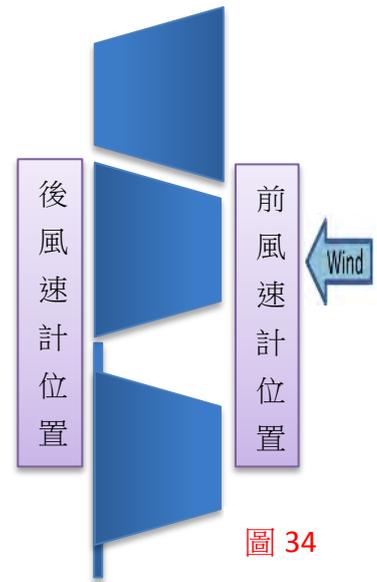


圖 34

結果：

	後方風速 (m/s)	前方風速 (m/s)
自然風	3.5	3.6
前大後小	4.1	3.6
前小後大	3.8	4.1
有凸起	3.3	4.6

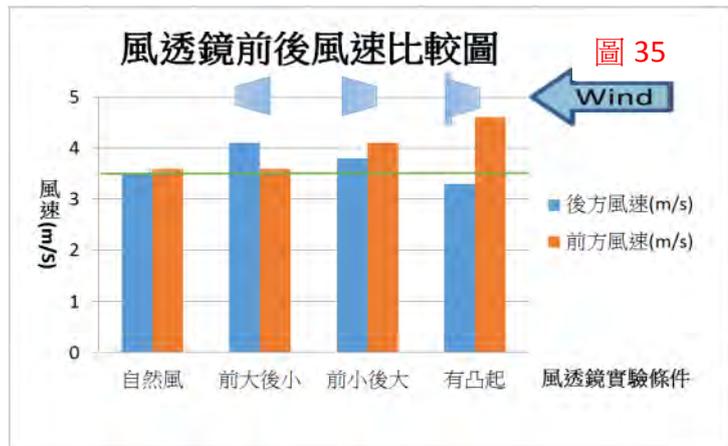


圖 35

討論：

1. 由實驗結果可得知，與自然風相比：

前端口徑大的風透鏡，會使前方風速不變，但後方口徑小處風速增加。

前端口徑小的風透鏡，會使前方風速增加，但後方口徑大處風速減少。

加了凸起的風透鏡，前端口徑小會使前方風速增加最多，但後方口徑大處風速驟減。

2. 引入從空氣質量守恆的觀點，若經過風透鏡的空氣流量固定，

面積大處分散空氣，流速慢，從伯努力原理，是相對高壓(H)

面積小處聚集空氣，流速快，從伯努力原理，是相對低壓(L)



圖 36

3. 從討論 2 的觀點，比對實驗結果，

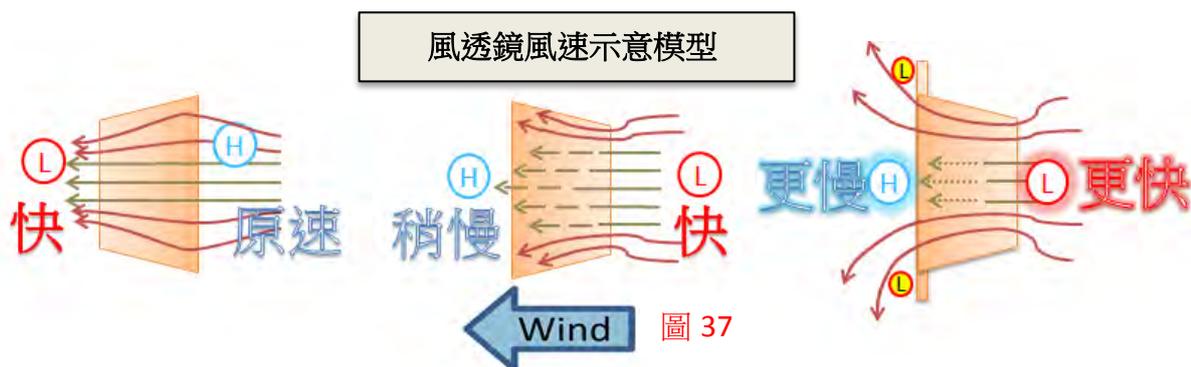
(1) 前大後小的風透鏡，前端與原風場之風速相同，後方則因面積縮小而加速；

(2) 前小後大的風透鏡，前端相對低壓，風速大幅提升，後方則產生相對高壓，加上面積擴大，流速降低，依然大於原風速。

(3)前小後大的風透鏡加凸起後，前方風速再提升，後方風速比預期的下降更多，甚至低於原風速，我們推測，凸起後方能再產生低壓，將邊緣空氣吸走，使前方空氣加速進來，前方風速大增。但因邊緣空氣被帶走，通過中心空氣質量減少，風速驟降。

小結論：

1. 風透鏡口徑大處流速慢；口徑小處相對流速快。
2. 若將小口徑處朝向扇葉，皆可加速。但是前小後大的風透鏡，連後方大口徑處，都還比自然風更強，顯然有引入更多空氣。
3. 有加凸起的風透鏡，在後方能再產生低壓，讓前方空氣再加速。



發想：知道風速大小與風透鏡前後口徑、凸起的關係。加裝一個裝置，如何引導風流動，到底氣流是甚麼走向，能不能看見？

實驗(七)-2 風透鏡流場顯像

步驟：

1. 取透明塑膠管當風洞置於桌面，將小電風扇放置於風洞後方，水霧機置於風洞前方，製作柵型開口以鋁箔包住開口，使能平行放水霧。
2. 準備三種透明風透鏡，分別為前大後小、前小後大、以及有加凸起的風透鏡。
3. 將三種不同的風透鏡置於風洞中，開啟後方小電風扇抽氣，觀察水霧流動情形。
4. 拍攝的影片截圖，個別探討。

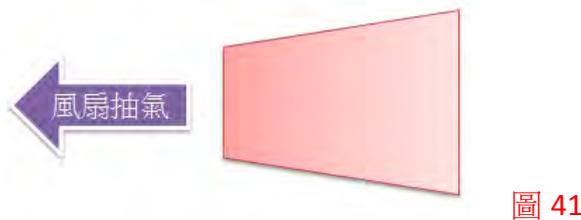


風透鏡流場顯像裝置圖

圖 38

結果與討論：

1. 前大後小型的風透鏡，雖然外型類似能聚風，但幾條靠近風透鏡外側的氣流卻順著邊緣加速向外跑(圖 39、40)。我們甚至看到了氣流繞到風透鏡外部，會形成捲起來，變成圓形狀的**低壓渦流**(圖 42)，代表在風透鏡外側形成低壓，大口徑處偏外加速氣流明顯，相對通過寬口的氣流就較少。



2. 前小後大型的風透鏡，雖然是小口對著氣流輸入處，但卻能收集到比大開口更多的氣流，而且氣流向內側聚集，看見的風速，比起大口朝外的風透鏡還來的快。

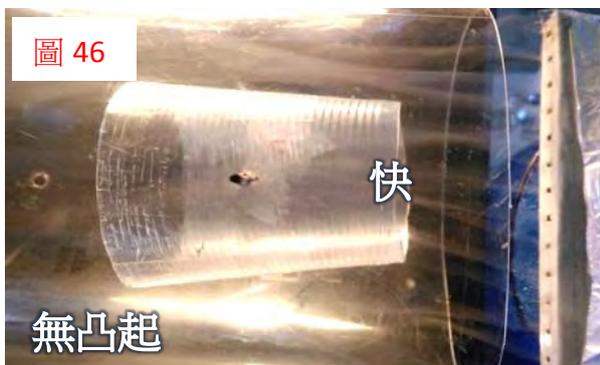
※小口朝風源的風透鏡，比大口朝外的，能聚集到更多風!



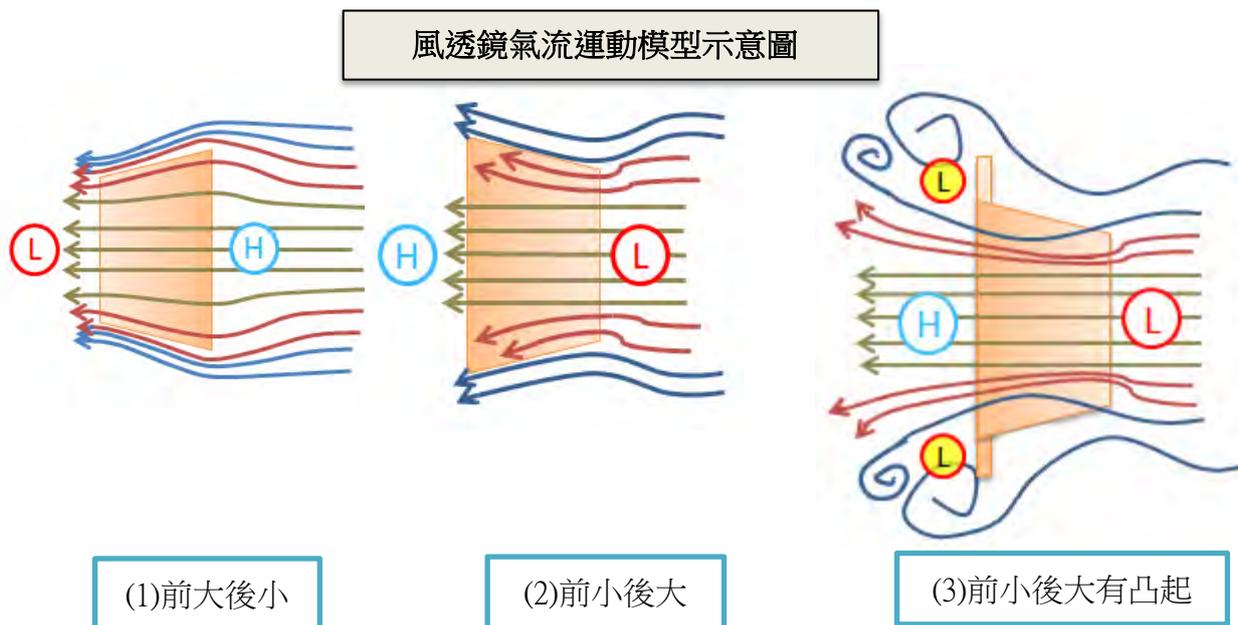
3. 前小後大有凸起裝置的流場，風透鏡的內部氣流似乎往凸起後部排放，而外部氣流則隨著凸起形狀向外排，並且會在後方形成微微的捲起(圖 44)，推測是凸起後部形成了低壓，使氣流往那處亂捲。我們曾經有把凸起風透鏡移到風洞外，發現外部氣流明顯捲進凸起後部，形成渦旋，證明此處有低壓存在(圖 45)。



1. 在相同的條件之下，把**相同規格**有凸起和沒凸起的風透鏡截出實驗全景圖，從線條看出，有凸起的能再引進密集的氣流(圖 46、47)，現場流速大增，後方推測是凸起能再造成低氣壓，引入更多風量。



4. 從 7-1 的風速結果，再加入本實驗的氣流流向發想，進一步擴充了風透鏡的氣流模型：
- (1)大口朝外的風透鏡，不如開口面積多，反而會有氣流流失。
 - (2)小口朝外的風透鏡，能捕到更多風量，在開口處風量變多，為聚風之效果。
 - (3)小口朝外的風透鏡再加入凸起，能新增地在凸起後部產生捲起，估計是因為凸起而形成的低氣壓。更在風透鏡後方，造成一個由後推前向外帶、氣流往外並且加速的氣場。



小結論：

前大後小的風透鏡，會向外排風；前小後大則會向內聚風。

我們更從氣流觀察到，有凸起會在凸起後方形成低壓，用壓力與風速解釋，能在凸起後部加速，進而由前往後向外推進，增進風速，並聚集更多氣流。

實驗(七)-3 藉由風源大小改變風速探討對發電功率的影響

步驟：

1. 將風源風罩移除，使用整流罩。
2. 將風源改為五種不同形式，200cm 弱、150cm 弱、100cm 弱、100cm 中、100cm 強，並將風速計置於整流罩後十公分處(原扇葉處)，測風速。
3. 使用實驗 6-2 凸出 1.5cm、直徑比 7：10，寬度 6cm 的風透鏡，前端置於距整流罩 10 公分，將風速計置於風透鏡前圖標示處，測風速。
4. 將扇葉置於距整流罩 10cm 處，將電線固定於電表上。並調整有或無風透鏡，測量在不同風源大小的發電電壓。

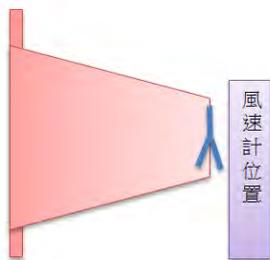


圖 49



圖 50 風速計測速照

結果： ※風速及皆電壓採用最大值

	原始風速 MAX(m/s)	原風能功 率(W)	有風透鏡 風速 MAX(m/s)	有透鏡風 能功率(W)	風能放大 倍率 C_w	原始風電 壓(V)	有風透鏡 之電壓(V)	電功率放 大倍率 C_v
200cm弱風	5.10	0.20	5.30	0.22	1.12	2.27	3.19	1.97
150cm弱風	5.50	0.25	6.40	0.39	1.58	3.06	3.12	1.04
100cm弱風	5.60	0.26	6.60	0.43	1.64	3.56	4.54	1.63
100cm中風	5.70	0.27	6.90	0.49	1.77	3.85	4.98	1.67
100cm強風	6.70	0.45	8.10	0.79	1.77	4.02	5.13	1.63

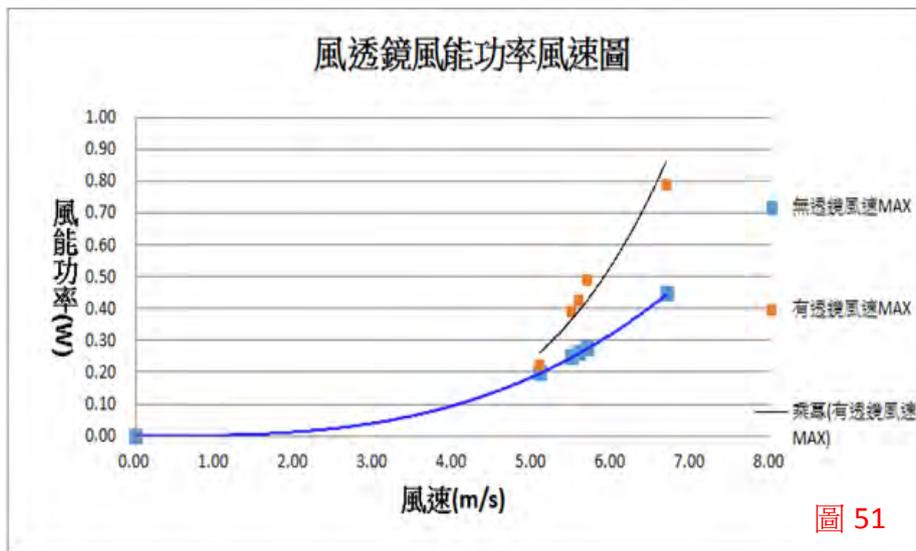


圖 51

立即討論：

1. 我們發現風速計會擋住扇葉，影響風量，因此需要在相同條件下分別測風速與發電電壓由風能功率公式得到理論原始**風能功率**

P 風能功率 (W) = 0.5 * ρ 空氣密度 (kg/m³) * A 扇葉面積 (m²) * V³ 風速立方 (m³/s³)

※ ρ = 1.293 kg/m³ (1atm 25°C), A = 2.7*2.7*3.14 = 22.8906 cm² = 0.00228906 m²

從數據發現，相同風源，定點風速隨著加入風透鏡而提高，可用風能功率隨之提高，放大效率為 C_w 值可以達到 1.77 倍。

2. 我們將測得的電壓，根據電功率公式

P 電功率 (W) = V² 電壓平方 (V²) / R 電阻 (Ω)

從發電電壓觀點來看，不同風力下，假設發電扇葉**電阻不變**，電壓平方相除後，可得到有無風透鏡，發電電功率放大倍率 C_v 值，我們的數據約為 1.6-1.7 倍

3. 再把前面的的風速風能數據，以**有透鏡之風能除以無透鏡之風能**，得到放大倍率 C_w 值，與電壓推算數值一起探討。
4. 在 100 公分弱風時，風能功率與電功率兩者放大效率 C_w、C_v 值最一致 (1.64, 1.63)，顯示此距離為本研究最佳的風源點，可與初階進階實驗結果互相搭配。

結論：

1. 各種風速下，只要加上風透鏡，不論風速或發電電壓都會增加，風透鏡的確能以增加入口風速，提高發電功率的事實。
2. 風能效率公式 **【P=0.5* ρ *A*V³】** 推算出的風能為理想狀態，而電壓則是實作狀態，兩者的放大倍率弱風時較不穩定，強風時比較相近，大約 1.6-1.8 倍。

陸、整體討論

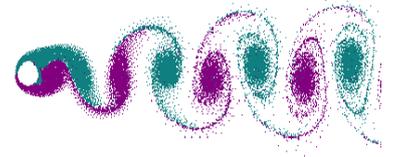
一、實驗裝置設計部分說明

(一)設計裝置簡述：將購買的直流馬達小風扇拆去電池，改用外來風力吹動扇葉，經後方馬達體電磁感應，以三用電表測出發電電壓，在此作為轉動效果的參考數據。

(二)工業風扇強風會吹跑裝置，因此除了實驗 7-3 有改變風源變因，我們從頭到尾都用最弱風做實驗。

(三)由於風源吹送之風速並非定值，因此全程實驗數據讀取，皆取 1 分鐘內檢測出的發電電壓最高與最低數據。後來我們知道風在碰到障礙物(風罩)之後會形成卡門渦街(圖 52 參二)，形成了不規則的風力，從實驗 3-2 發現風源距離竟然是不規則影響，更能證明。因此進階階段研究(五)(六)(七)的實驗，我們拿掉工業電扇的防護罩(圖 53)，得到較大也穩定的數據。

圖 52



二、氣流模型解釋進階實驗

我們將 7-2 推導的流場模型加以應用，重新解釋第五、六部份的實驗結果。

(一) 實驗六-1，A 型態雙環效果優於 B 型態雙環氣流探討

A 型態前環的前端排風，使高低氣壓如圖，開端面積大，進風量不大，但高氣壓稍稍推進，對中央扇葉有些許加速效果。

B 型態前環前端聚風，到後端扇葉處面積加大，造成高壓，氣流減速，甚至在兩環相接扇葉處有漏風可能；又因外環氣流發散，後方藍色環的凸起能造成的低壓也不明顯，更無法增加中心風速。

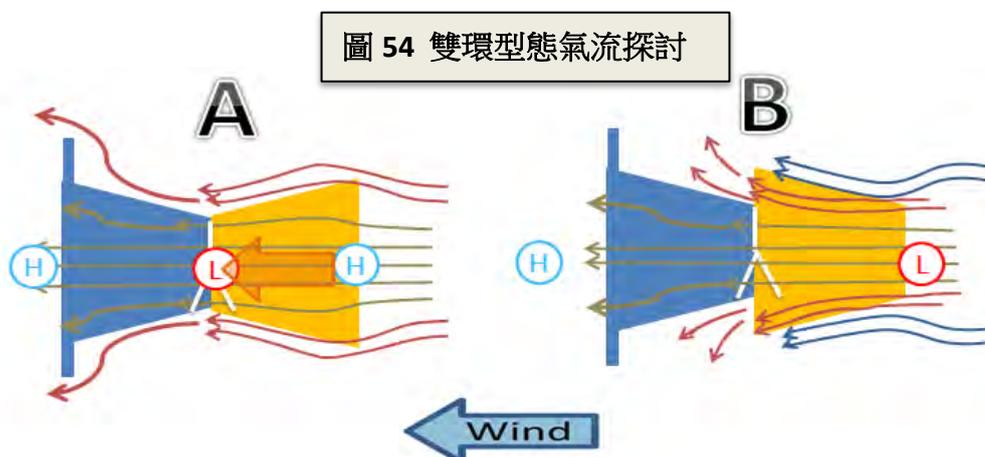


圖 54 雙環型態氣流探討

(二) 實驗六-2，**單獨一環優於 A 型態雙環**氣流探討

A 型態的雙環相接時，右邊的黃色入口是大口徑，已經排開風到外環，所以進到扇葉的風量開始就不夠多；而右方單單一個聚風效果的風透鏡，開端能聚集到的風量，比起雙環 A 型態多了許多。

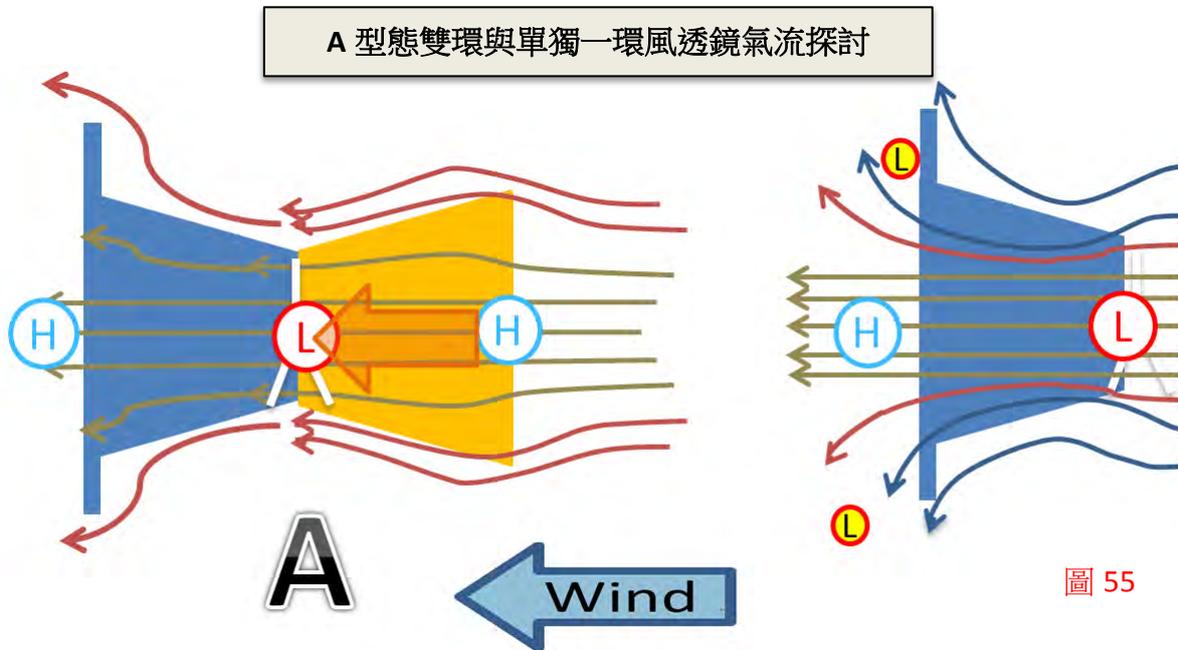


圖 55

(三) 實驗五-4 凸起到兩公分效果不彰，以及凸起之重新探討:

如果凸起裝置變大，低壓區也會相對放大。在一定的範圍內，低壓區是越長越好，它能夠抽動更多的氣流進去凸起後部而加速；但是凸起過長的話，會讓內外部的氣流個別進去，造成停滯而不會產生互相連鎖反應的卡門渦街，能夠抽動加速的中央氣流少了許多。

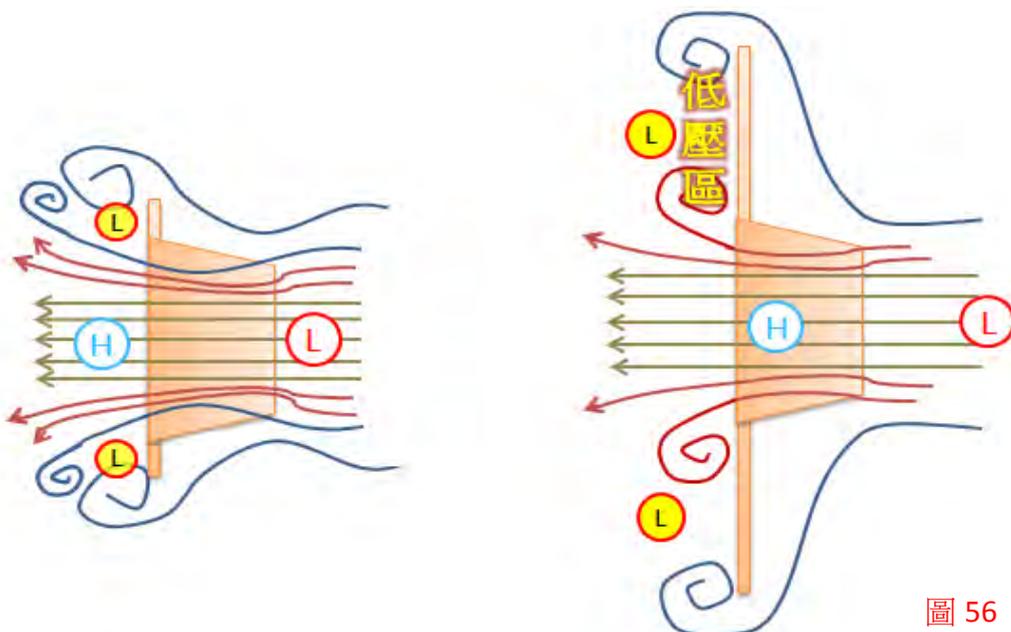


圖 56

三、翼尖小翼裝置、風透鏡風罩、與凸起裝置之思辨

(一) 飛機的翼尖小翼是為了阻止機翼尾渦生成而設計的，它可以有效地阻礙上下翼面的空氣繞流，降低因翼尖尾渦造成的誘導阻力(圖 57)，減小繞流對升力的破壞，提高升阻比，達到增加升力的目的。除此之外，機翼尾渦也是噪音源，用翼尖小翼除去，更可有效的降低飛機噪音。

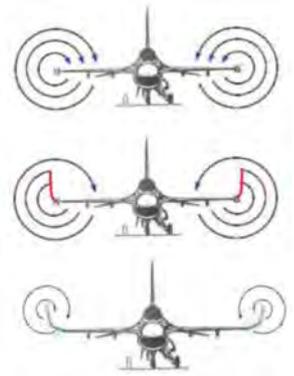


圖 57

(二) 風透鏡的圓型籠風罩就能有翼尖小翼的功能。風機的葉片外型如同機翼，葉片在被風吹時，也會在尾端形成翼尖渦旋(噪音源)，風透鏡將其扇葉包覆住，如同翼尖小翼般把渦旋破壞，讓噪音消失。



圖 58

(三) **凸起思辨**：先前我們認為風透鏡的凸起就是翼尖小翼的功能，但其實不是。凸起是另創的特殊裝置，是刻意讓凸起後方產生低氣壓，能夠抽入更多風。翼尖小翼雖然與凸起形狀類似，卻是要阻擋因低壓產生的繞流，功能相反。

四、風透鏡模型進化順序

前後研究過程，我們對風透鏡放大發電效果有不同解讀：

(一) **舊版解釋**：

1. 從空氣壓縮、膨脹解釋空氣密度再解釋氣壓，如圖 59 左，前小後大型態是空氣在後方膨脹形成了低氣壓，前方有高氣壓推進，流速增快有利發電；前大後小型態則是空氣在後方壓縮而形成高氣壓，會有個往回推，干擾發電的氣流。
2. 從外型迷思探討聚風，前小後大型(圖 59 左)不聚風，前大後小型則有效聚風(圖 59 右)。

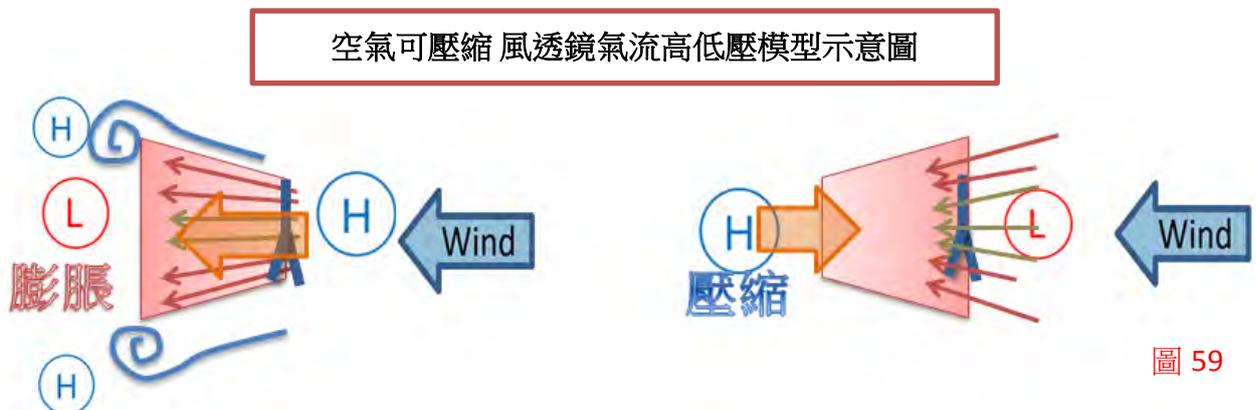


圖 59

轉捩點：我們再進行文獻搜尋，發現流體速度在不超過 0.3 馬赫(Ma)時，是不可壓縮流，因此密度不會改變！尤其在風速與風場實驗，我們看見了流體行為，所以重塑氣流運動，用新模型去解釋風透鏡的放大效果。

(二) **新版解釋**：

1. 新理論之運用流體公式：

(1) 質量守恆：風透鏡前後開口處風量相同，且密度不變

質量流率定義： ρ_1 (密度) * A_1 (截面積) * V_1 (速度) = Δm (質量) / Δt (時間) = $\rho_2 * A_2 * V_2$

(2) 從流體的能量守恆列式

$$P_1 * V_1 + 0.5 * m * v^2 + 0.5 * m * g * h_1 = P_2 * V_2 + 0.5 * m * v^2 + 0.5 * m * g * h_2$$

其中 PV 是壓力能， mgh 是流體位能， $0.5mv^2$ 是流體動能。

若流體體積不變，同除體積 V，則可得到白努力原理公式

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

3. 若不考慮高度落差，則因白努力公式前兩項和是一定值，所以流體流速快之處，壓力小形成低氣壓。連動風透鏡型態，若是前小後大型開口截面積小，速度快，所以為低氣壓；前大後小型開口面積大，速度慢，為高氣壓。

空氣不可壓縮 風透鏡氣流高低壓模型示意圖

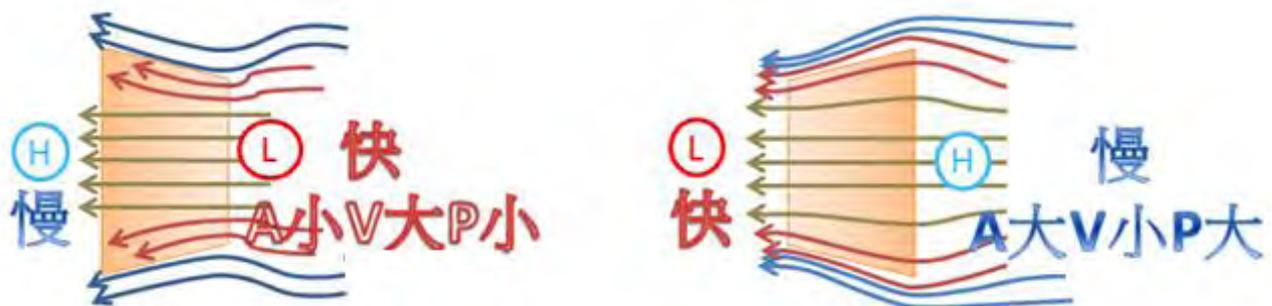


圖 60

3. 再由 7-2 實驗觀察到，前小後大型風透鏡其實會聚集風引入，反而是前大後小型會在邊緣排風，口徑小流量大，口徑大卻流量小。

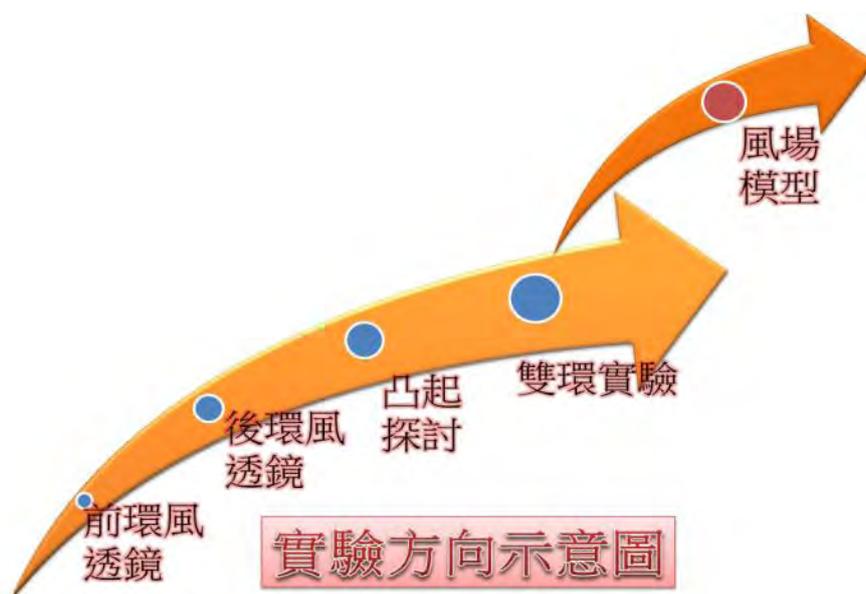
舊版為流體可壓縮模型，新版為流體不可壓縮模型，風透鏡神奇的放大效果適用新版模型

五、風機效能與風透鏡效率之辨正

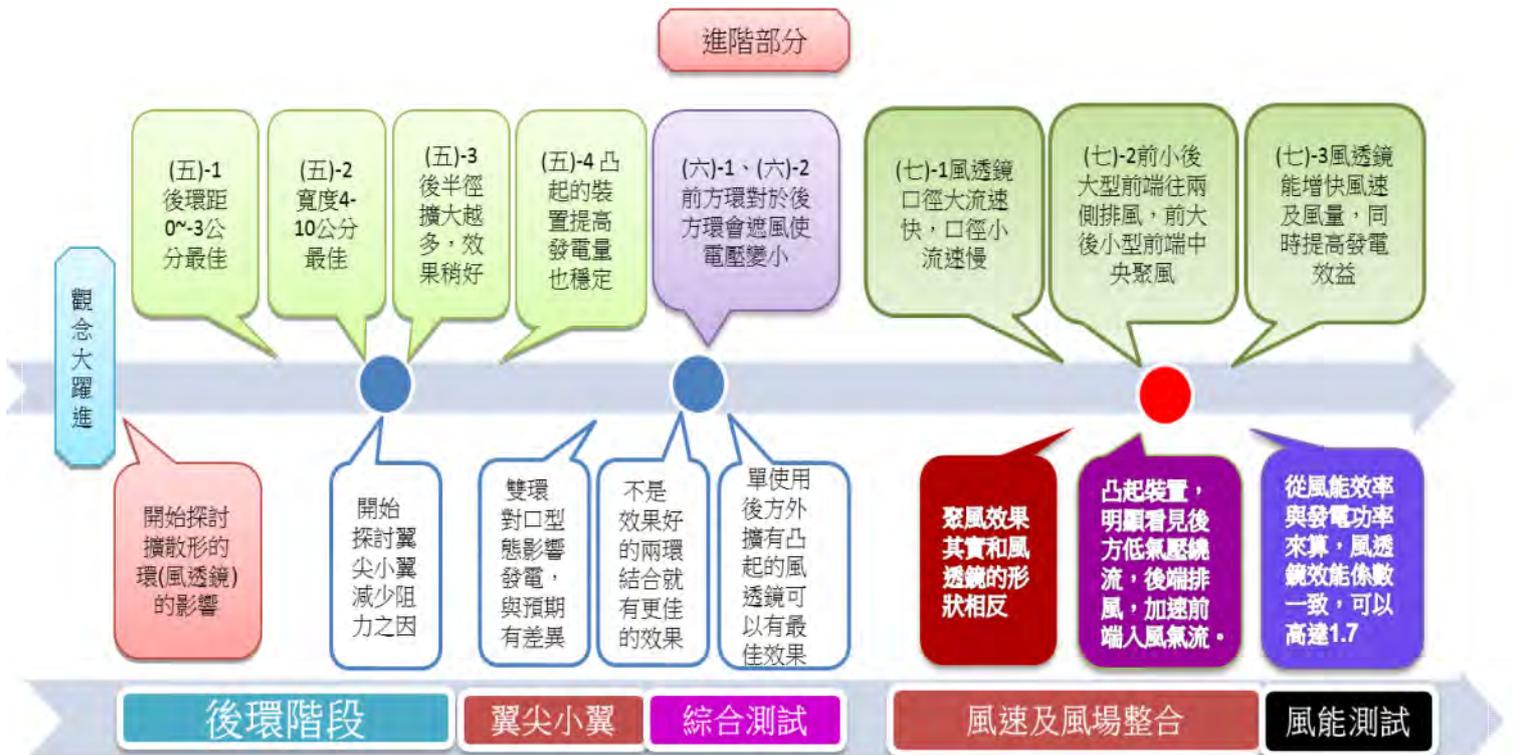
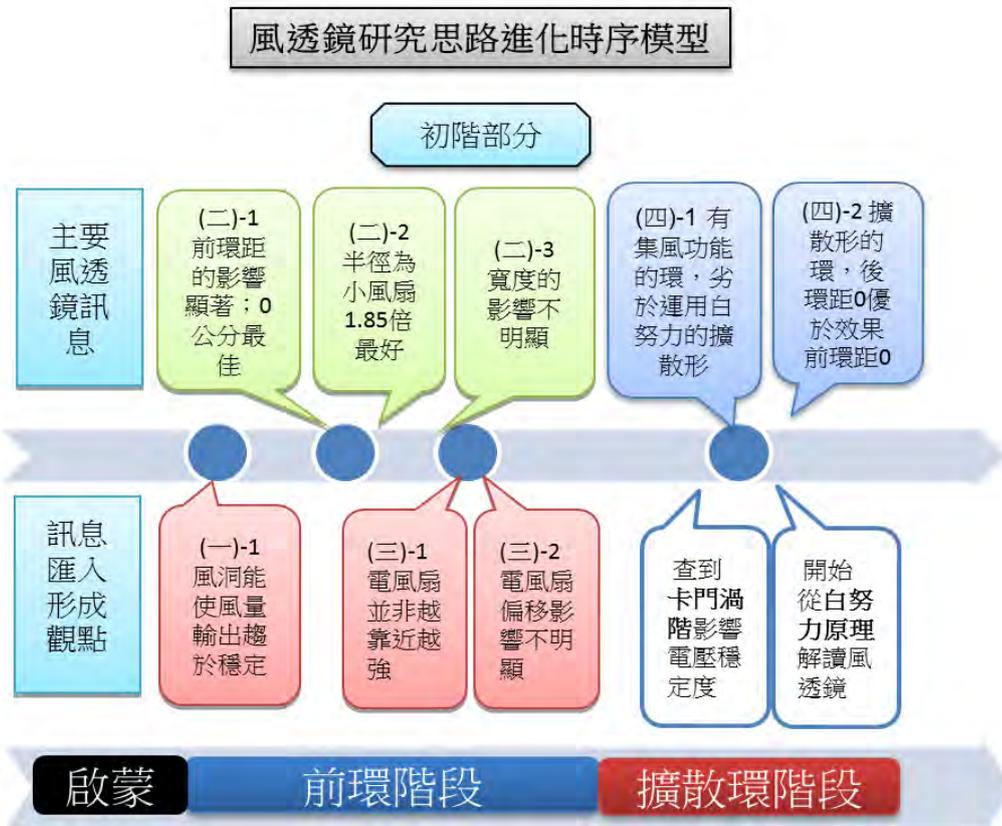
- (一) 我們在查閱文獻時發現了一個叫作**風機效能係數**的比值 C_p ，**效能係數**是實際發電功率與原始風能功率的比值，即**實際發電功率** $=0.5 \rho AV^3 * C_p$ 。同時又找到，因風能不可能通過風機給予百分之百的能量而造成停滯，風力發電機的最高發電效率為貝茲極限 $C_p=0.59$ ，即實際發電功率至多只有原始風能功率的 0.59 倍。
- (二) 在研究 7-3 時，我們探討了**風透鏡效能值**(C_w / C_v)，此風透鏡效能值為加風透鏡提高的效率，即有無風透鏡，風能功率相除(或發電效率相除)，與風機效能係數是不同的。
- (三) 我們有嘗試要找出扇葉的效能係數 C_p 值，甚至是含有風透鏡的風機效能值。但計算風機實際發電的電功率(P)同時需要電壓(V)與電流(I)或是電阻(R)，而用三用電表測量電流時，小風扇運轉情形明顯減慢，原因檢討是測量電流時三用電表需要與迴路串聯，電阻提升，而使數據不能與所測發電電壓互相搭配，無法計算電功率。至於扇葉發電電阻則是因數值過大，用簡易的三用電表無法檢測。

透過風透鏡提升的效能值 C_w 可以探討風透鏡的放大發電效果，我們實驗值高達約 **1.7**。本實驗三用電表無法測得含有風透鏡的發電功率來計算 **新的 C_p 值**。僅知道加了風透鏡模組的風機**原始 C_p 值*** C_w ，有可能得到大於 **1** 的風效能係數，令人相當興奮。

六、本研究風透鏡實驗方向示意簡圖



七、從實驗探索獲得的訊息過程製作如圖



柒、總結論

扇葉前置環基礎探索

第一部分 整流罩對發電電壓量的影響

(一) 整流罩能使得風比較穩定，但也會減弱風源風量。

第二部分 探討前置環對發電電壓影響

- (一) **環距**：風透鏡距離扇葉越近(越近)，0cm 效果最好。
- (二) **環半徑**：風透鏡半徑與扇葉半徑的比為 5：2.7 時，效果最佳。
- (三) **環寬度**：環的寬度與扇葉和整流罩之距的比為 4：10 時，效果最佳。

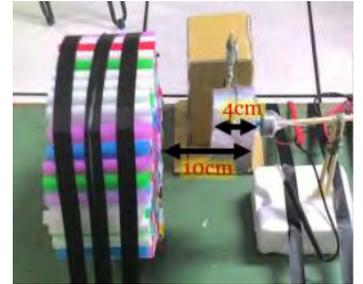


圖 62

第三部分 風源在不同位置影響探討

- (一) 有風罩時，風源離整流罩距離越近，扇葉發電電壓無明顯比例關係。
- (二) 有風罩時，對準扇葉中央處，風力較大。

第四部分 風透鏡內外口徑不同之探討

- (一) 口徑內大外小的風透鏡比起內小外大的發電電壓較高，效果較好。
- (二) 口徑前後大小不同的部分，當環距為 0 時，環放在後方有較佳的發電效果。

扇葉後置環進階探索

第五部分 探討風透鏡本身對發電電壓影響

- (一) 前大後小的風透鏡，放後方 0-3 公分，發電電壓大增
- (二) 後置風透鏡寬度 4-10 公分，風力的白努力增強效果較佳。
- (三) 後置風透鏡大小口比例大的環，風力增加影響不大，但穩定度增高。
- (四) 後置風透鏡如翼尖小翼的凸起，可以阻擋後方捲入的氣流，確實可以增大進風量。

第六部分

- (一) 雙環對口選擇小口對小口相接合，有較大的相對電壓。
- (二) **單一一個有凸起的後置風透鏡**，比加了前方環的組合風透鏡，**有更大的發電效率**，
- (三) 比對不加風透鏡的發電電壓，我們所做最佳風透鏡放大效果，發電電壓高達 1.42 倍

第七部分

- (一) 前大後小、前小後大的風透鏡，都是口徑大處流速慢；口徑小處則較快。有凸起的風透鏡，能再形成低壓，增強風速。
- (二) 前大後小的風透鏡，捕到的風少；前小後大的風透鏡，卻能捕到更多風。前大後小多了凸起的風透鏡，更能推入大量的風。
- (三) 風透鏡能增進入口風速，增加發電功率，本測試做的簡易風透鏡效能值大約 1.7 倍。

捌、參考資料

- 一、風透鏡日本官網。風透鏡。檢索日期：2016 年 10 月 16 日。網址：
<http://www.riam.kyushu-u.ac.jp/windeng/Windlensturbine.html>
- 二、維基百科(2015)。卡門渦街。檢索日期：2017 年 2 月 26 日。網址：
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%8D%A1%E9%97%A8%E6%B6%A1%E8%A1%97>
- 三、新頭殼 newtalk(2015)。日本風透鏡風車曝光發電量較傳統高 2 倍。檢索日期：2016 年 10 月 17 日。網址：<http://newtalk.tw/news/view/2015-06-25/61555>
- 四、維基百科（日文版）(2016)。風透鏡。檢索日期：2016 年 10 月 17 日。
網址：<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E9%A2%A8%E3%83%AC%E3%83%B3%E3%82%BA>
- 五、道明中學。風力發電機。檢索日期：2017 年 3 月 06 日。網址：
http://www.mingdao.edu.tw/acaaff/facility/volunteer/green_room.pdf
- 六、中國風能產業網(2015)。誘導阻力。檢索日期：2016 年 10 月 16 日。網址：
<http://www.cweea.com.cn/html/zonghexinwen/201506/30-44049.html>
- 七、蘋果日報(2015)。DIY 窮人冷氣機 寶特瓶超神用法。檢索日期：2017 年 2 月 16 日。
網址：<http://www.appledaily.com.tw/realtimenews/article/new/20160611/883776/>
- 八、Ohya, Y., and Karasudani, T., 2010, "A Shrouded Wind Turbine Generating High Output Power with Wind-lens Technology," *Energies*, Vol. 3, No. 4, pp. 634-649.

玖、研究歷程與心得

第一部分：啟蒙、校內科展、市區科展

一開始我們想研究飛機。從飛機機翼展弦比到翼尖小翼，我們彷彿霧裡看花，甚麼都有興趣，甚麼都搞不清，不知如何著手。搜尋資料時，無意看到一則報導，吸引了我們的眼光：日本人 2015 年在風力發電機加環能使風力發電量提高 2~3 倍，且原理好像也是翼尖小翼。從飛機到發電機，這連結引起了我們的好奇心，但是上網進階搜尋，發現資料條目很少，而且也沒有細說原理。於是決定題目就是他了！！！！

摸不著頭緒的開端，我們靠著東拼西湊試著去了解原理，但是不論怎麼瞎想，都沒有進度，於是試做一個環去吹風，發現真的可以提升數據。實體操作開始伸出連結，進度緩慢之後進行了一連串改造與實驗。不過為了趕上校內科展的進度，我們一起投入了更多的時間。

實驗不是順利的，要尋找適合當風透鏡的材料也花了不少時間，一個不小心，環模型多剪了幾刀就要重做。

校內科展之後，作夢都沒想到，用圈圈增加風力的我們這組，竟然要代表學校參賽。有幸參加市區科展，程度應該不一樣吧，不管懂不懂，不管方向明不明，我們開始模仿我們在日本風透鏡官網上看到的環外形，設計變因，也在此時，我們查到了凡是流體，只要透上了罩子，有障礙物，就會產生卡門渦流，原來就是這個，使得我們的實驗數據不穩定，於是後半場實驗，我們拿掉了工業電扇的罩子，繼續以風透鏡的主題探討下去。

在寒假期間，我們再度上了日本風透鏡的官網，翻譯搭配著相關查詢，有別於以往似懂非懂，在實作的發現上，那外大內小的風透鏡放在後方，有大風量…，那不是課堂上理化老師給我們看影片窮人的冷氣機相同的原理嗎？終於搞懂風透鏡，就是白努力原理的應用嘛！！！那翼尖小翼的圖，氣流繞上去將飛機壓下來…，懂了，還是白努力原理啊！！！

於是第二階段，我們開始再次擬定新的實驗架構，花了將近三個禮拜將進階部分完成了。我們發現就算知道要做甚麼，實驗依然不是從容優雅能完成，我們總是反覆調整修正實驗器材，或是有些數據難以討論，才發現設計錯誤。這個經驗提醒我們們要精準的明白自己在做什麼、意義為何，有錯就需砍掉重練，終於個個擊破。

想起那段進階接實驗的日子，幾乎每天中午都做實驗，曾經一天八節有三節不在教室，身心非常疲憊，這段日子持續了數周。後來發現一件很妙的事，實驗結束後，我們竟然因為沒做實驗有怪怪的感覺(這感覺超神奇)。我們這幾個為了參加市區科展，都拚了！！

寫報告，開表格，內容隱諱不明的，加圖、加線、加說明…反反覆覆快吐血。從一開始只是構造簡單的環去傻傻的測量，直到最後真的逐步做出一種能夠放大風量的風透鏡，讓我們的發電電壓能夠達到最高 1.9 倍，想來真是歷程艱辛。抱持精益求精的態度，期待能將風透鏡這一有趣的議題，做一個完整的呈現。最後我們也感謝我們的指導老師，總是在我們沒方向的時候給我們指引，並催促懶惰的我們！

第二部分：全國科展 ~ 教授訪談與續做心得

完全沒想到，我們竟然進了全國科展！！！考量到我們整組對流體認識不足，於是找到逢甲大學航太系黃柏文教授，讓我們詢問之前報告的迷思。

訪談一開始，黃教授以質量流率，解釋氣流基本學理，再針對前大後小與前小後大兩種風透鏡，推出正確的氣流流向與合理的壓力型態。比對我們先前的高低氣壓推論，教授所說的理論與我們原本的解釋完全相反！一陣恍然大悟後更看清楚自己的思考盲點。之後黃教授也針對我們研究中提到的卡門渦街、白努力公式，做深入淺出的解說。黃教授鼓勵我們，雖然實驗器材很簡易，但研究歷程很有趣。

感謝黃教授願意抽空點醒我們，我們才想到要增加風速實驗。精確了解風的大小和流向之後，得以用新模型解讀進階實驗的結果。做了一年的作品，最後能讓學理得以深入。從一知半解，層層進化，到最後能了然於胸，驗證實驗所看見，這真是最有意義的事情！！！

【評語】 030103

雖然是驗證既成風機原理，但是該團隊發展出相當完整的研究計畫，適當引用相關理論佐證解釋。研制精巧的實驗裝置，充分表現出成熟的實驗技巧，令人印象深刻。氣流觀察的實驗裝置，頗令人驚艷。如果能以目前的實驗成果為基礎，發展出效率更勝原風機的风透鏡，或是將之運用其他裝置，例如液體，將可使該實驗不僅是原理驗證，更有實際應用的價值。

作品海報

摘要

發電扇葉加一個環就可以提升發電量？！

本篇報告初階實驗發現前小後大的環(風透鏡)，放在扇葉後方比前方效果佳(研究一~四)。

進階實驗探討扇葉後方加裝各種風透鏡，發現後方口徑邊緣有凸起，有更大的發電效果(研究五)。做連續測試將皆可放大風效的兩風透鏡結合成雙環，發現效果最好的依然是單一有凸起的後方風透鏡，偏離預設的雙環結合(研究六)，最後我們測試風透鏡前後風速，透過流場顯像，做出氣流運動模型，解釋風速放大實驗結果。最後針對風速與發電電壓，討論出有凸起的風透鏡發電效率約為1.7 (研究七)。以風透鏡為探究主軸，簡單器材實際動手做，從實驗觀測切入學理，希望能以小風吹扇葉，發電效益卻可如同大風吹一樣。

壹、實驗動機

2015年新聞，我們無意間看到日本發明出一種成本不高，發電效率卻可以達到傳統風力發電機2-3倍的「風透鏡發電機」(參一)，它神奇的效果引起同學間的討論，才一個環，放在扇葉前後，不論大小遠近，對發電是如何影響？零星資訊拚不出全貌，還是有許多疑問，於是我們決定自製風透鏡，探索對扇葉發電的影響。

貳、實驗目的

扇葉前置環基礎探索

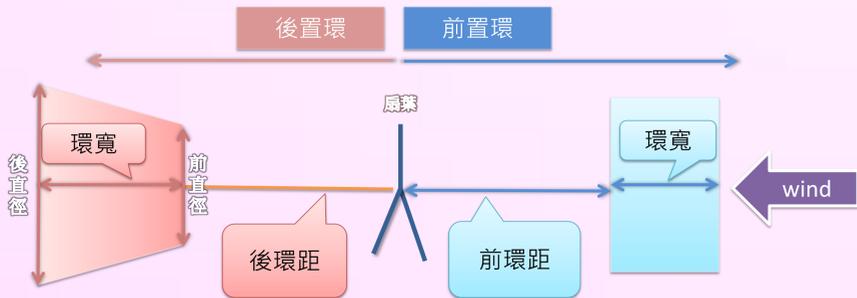
- 研究一 整流罩對發電電壓影響
- 研究二 探討前置環對發電電壓影響(環距、環半徑、環寬度)
- 研究三 風源位置的不同對發電電壓影響(風源距離、風源橫向偏移)
- 研究四 環前後口徑不同對發電電壓的影響

扇葉後置環進階探索

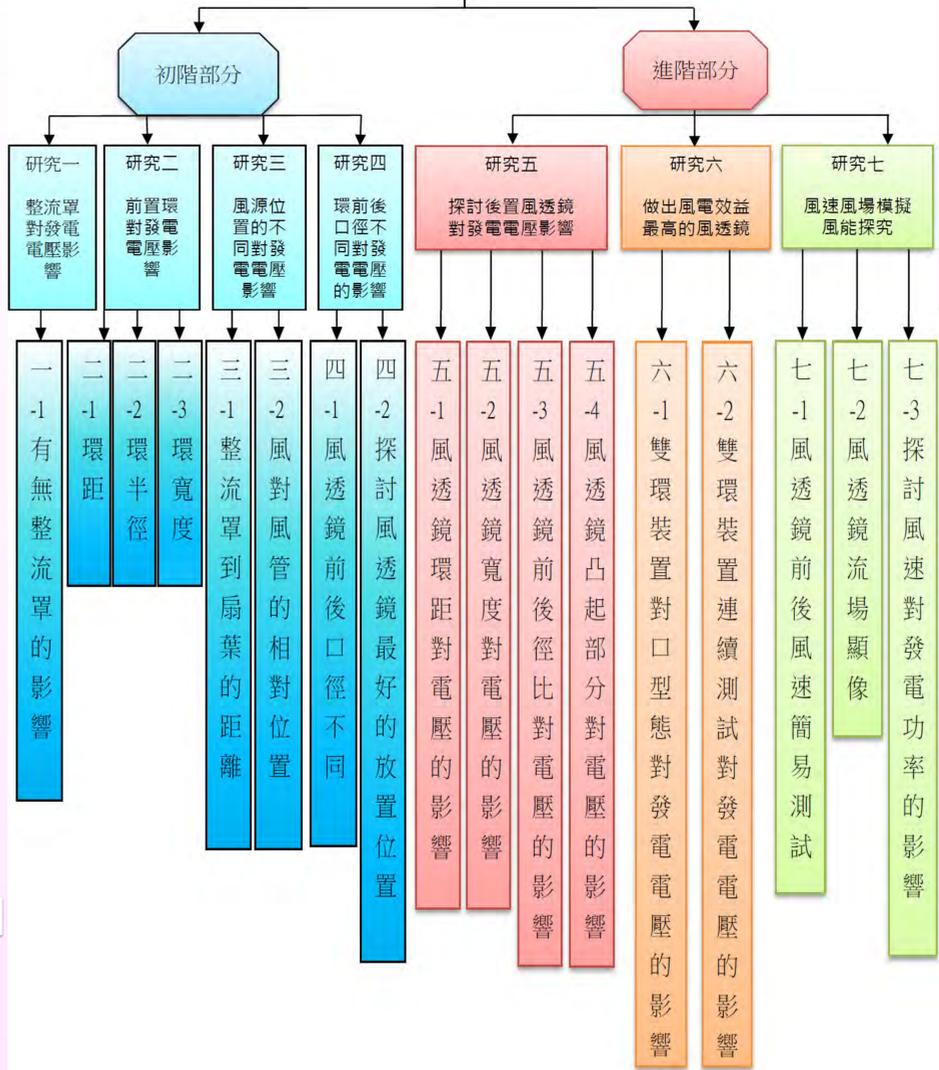
- 研究五 探討後置風透鏡對發電電壓影響
- 研究六 綜合前面實驗的結果，嘗試做出風電效益最高的風透鏡
- 研究七 風速風場模擬風能探究

參、研究設備器材 肆、架構圖

實驗器材與裝置圖：玩具扇葉、三用電表、小馬達、桌子、剪刀、捲尺、黑色膠布、透明膠帶、吸管(當整流罩)、架環的支架、工業用電風扇一臺、寬度、半徑、各種不同變因的風透鏡。水霧機一臺、透明的風透鏡、隨身風扇一臺、透明投影片。



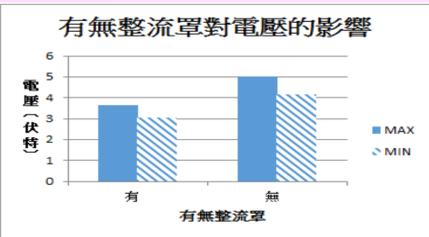
風透鏡對風力發電之探究



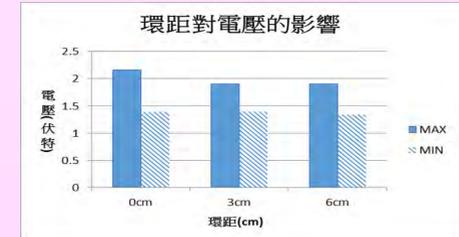
伍、研究過程及結果

第一部分：整流罩對發電電壓影響

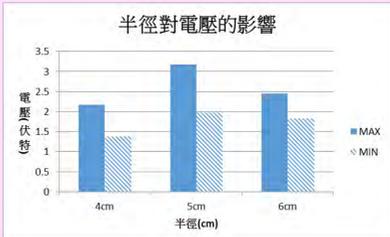
實驗(一)：有無整流罩的影響



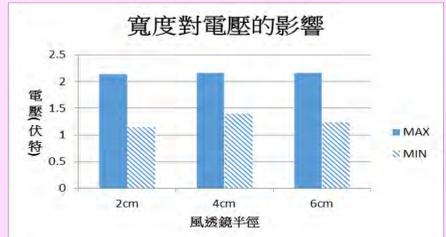
實驗(二)-1：環距對發電電壓的影響



實驗(二)-2：環半徑對發電影響



實驗(二)-3：環寬度對發電影響

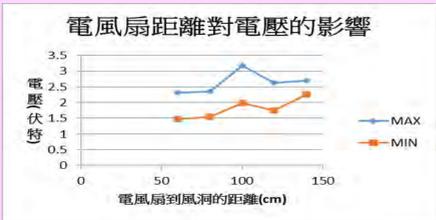
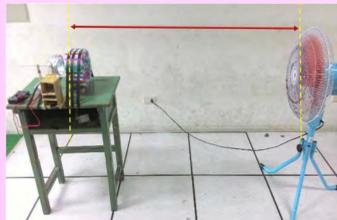


※圖表顯示有整流罩的數據較穩定，有整流效果。※往後的實驗皆有加整流罩，長度修正為半隻吸管使壘罩面積放大，也增加流速。

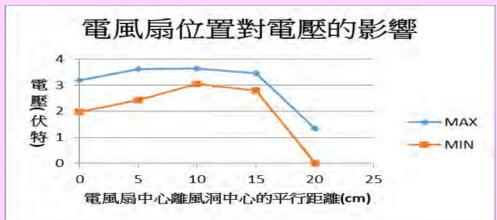
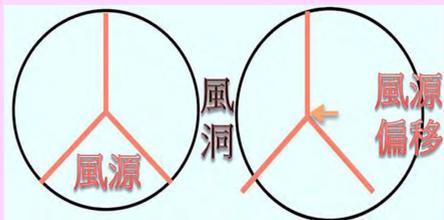
※往後其他實驗前置環，皆以環距0公分、半徑5公分、寬度4公分的規格做實驗

第三部分：風源在不同位置影響探討

實驗(三)-1探討整流罩到風源風扇的距離是否影響其發電效益。



實驗(三)-2風源對風管的相對位置

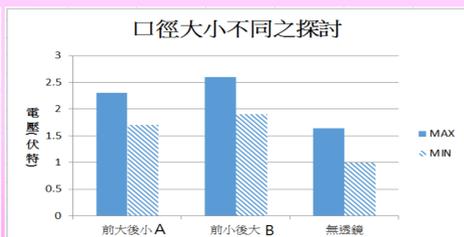
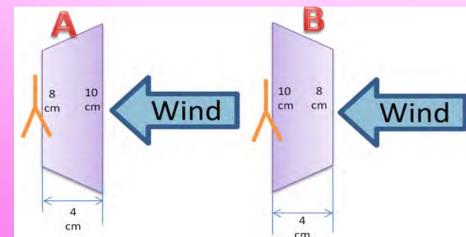


※往後其他實驗皆以風源在100公分距離規格做實驗

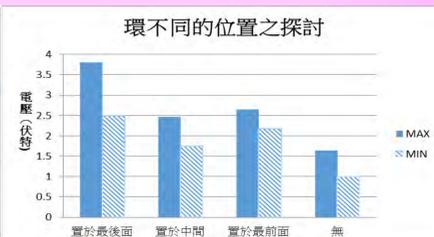
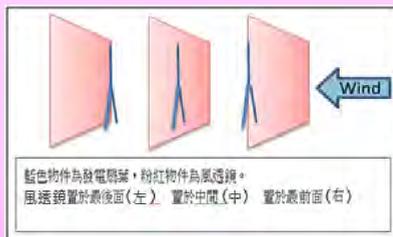
※往後實驗我們依然選擇風源正吹(直到進階實驗拿掉電風罩)

第四部分：風透鏡前後口徑不相同之探討

實驗(四)-1風透鏡前後口徑不相同



實驗(四)-2 尋找前小後大環距0實驗風透鏡 最好的放置位置



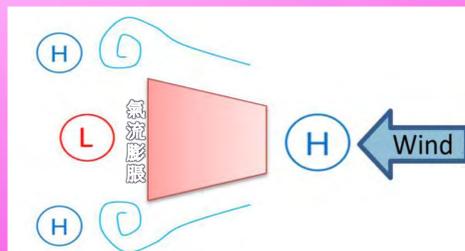
實驗(四)-1討論

對照無風透鏡，有風透鏡的發電電壓，明顯比沒透鏡的高很多。其中，口徑內大外小的B風透鏡比起內小外大的A發電電壓高不少，僅是翻轉，風透鏡測出的數據跟我們預想的集風效果相反，推測B透鏡除了集風應該還有其他功能。

實驗(四)-2討論

風透鏡設置於中間或前面效果較差，風透鏡移動到在扇葉最後面(環距為0)時，轉速明顯加大。用白努力原理來解釋，擴散的形狀讓空氣在扇葉後造成低氣壓，前方湧入更大風量。此時才發現風透鏡原理類似理化影片~窮人的冷氣機影片中，那寶特瓶口後方氣流膨脹造成低壓的原理。

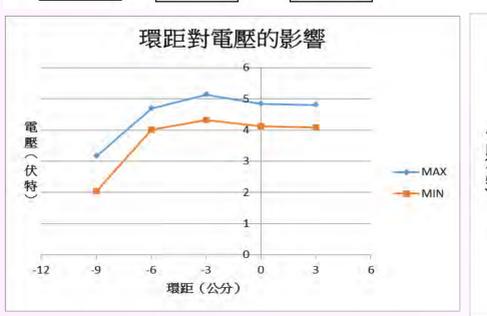
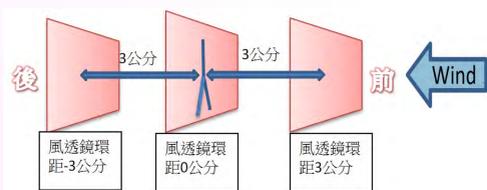
※因此往後實驗我們選擇前小後大後置風透鏡進行研究



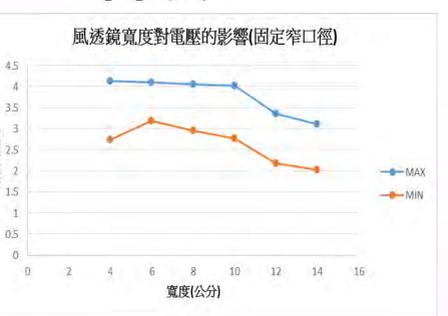
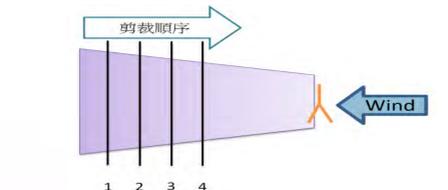
第五部分：探討後置風透鏡對發電電壓影響

緣起：前半段做到最後實驗4-2才知道，風透鏡是白努力原理的應用。比對日本官網，發現我們前半段探索，意外的將風透鏡放扇葉前方，也發現可以增大風量。而日本官網的風透鏡是多了一個凸起放扇葉後方。這又是甚麼原理？我們從實驗著手，繼續探索後置風透鏡的變因，並將前方後方風透鏡彙整，期待找出小風源大風吹的秘密。

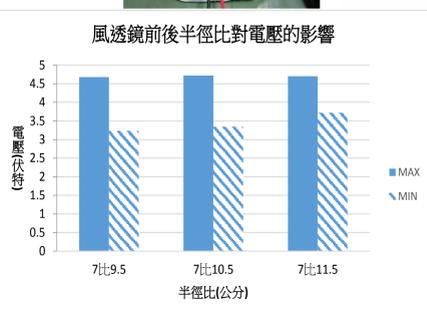
實驗(五)-1：環距對電壓的影響 實驗(五)-2寬度 對電壓的影響 實驗(五)-3：前後徑比對電壓影響 實驗(五)-4：凸起部分(邊緣Brim)對電壓的影響



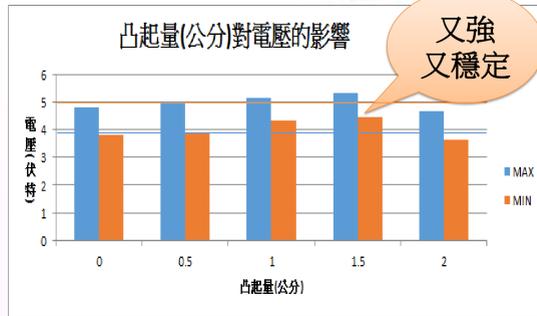
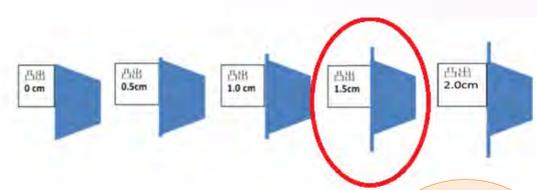
※風透鏡放後方0-3公分，大增發電電壓



※後置風透鏡寬度4-8公分風力佳



※大小口比例大的環，穩定度增高

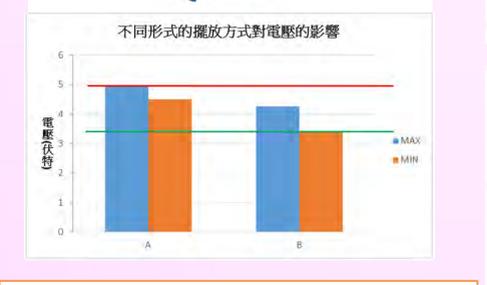
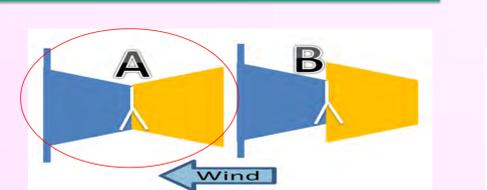


※凸起可以阻擋後方捲入的氣流，增大進風量

第六部份：綜合結果，做出風電效益最高的風透鏡

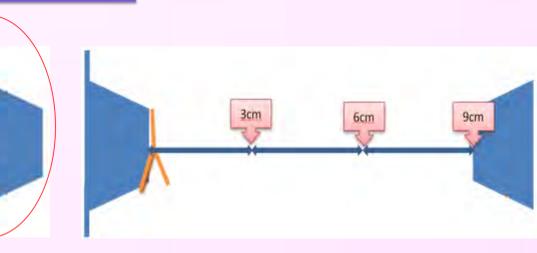
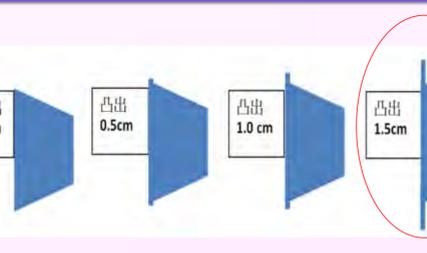
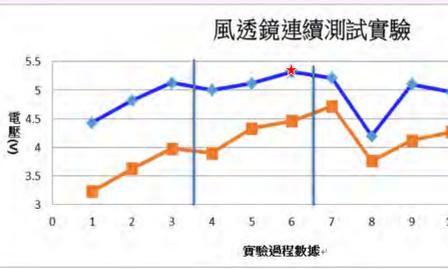
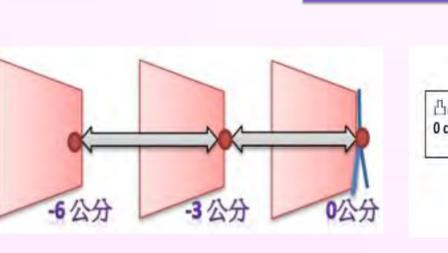
緣起：我們從前五部分實驗中漸漸了解風透鏡每一部分的功效細節，我們循序結合每一部分的連續影響直到「雙環裝置」~在後方風透鏡的基礎下，再添加前環風透鏡，想知道是否能造成更強的發電，測試如下。

實驗(六)-1雙環裝置對口型態的



※雙環對口選擇A型態，進行測試(六)-2

實驗(六)-2雙環裝置連續測試對發電電壓的影響



	數據1	數據2	數據3	數據4	數據5	數據6	數據7	數據8	數據9	數據10
	改變後環距			加突起翼尖小翼			加前環改變環距			
後環距(cm)	-6	-3	0	0	0	0	0	0	0	0
寬邊凸出(cm)	0	0	0	0.5	1	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
前環距(cm)	無	無	無	無	無	無	9	6	3	0
最大電壓 V _{MAX} (V)	4.43	4.82	5.13	5	5.12	5.32	5.21	4.2	5.1	4.96
最小電壓 V _{MIN} (V)	3.23	3.63	3.98	3.9	4.33	4.46	4.72	3.76	4.12	4.27

當日無風罩無透鏡對照發組電電壓：最大電壓3.74V，最小電壓1.98V

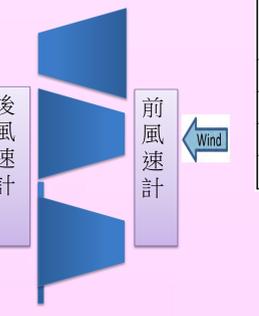
小結論：
 1. 前後環相結合，環距為0時，有相當穩定度。
 2. 凸出的公分數越多時，發電電壓有明顯的提升，數據有最大電壓5.32V比起完全不加風透鏡的對照數據3.74V整整高出1.42倍，換算發電功率高達原來的2倍。
 ※單一個有突起的後置風透鏡，比加了前方環的組合風透鏡，有更大的發電效率！！

第七部分:風速風場模擬風能探究

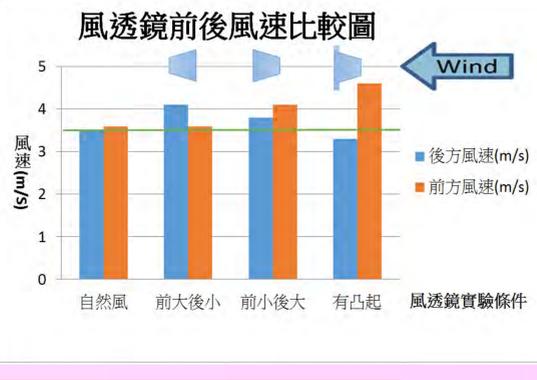
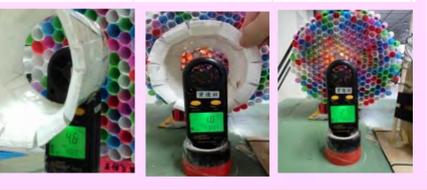
緣起：我們已經知道，含有凸出裝置前大後小的風透鏡能提升最多發電量，但還是不明白風透鏡內細部氣流的原理。想要知道造成實驗結果的氣流快慢與走向。因此，我們再加入了「風速大小」與「流場顯像」的元素，觀察推論神奇的放大效果，做出模型，並探討風透鏡效率。

實驗(七)-1：風透鏡前後風速簡易測試

- 實驗步驟：**
- 將風源風罩移除，固定風源，以風速計測量整風罩後10公分自然風速。
 - 取半徑7：10、厚度6公分、不含凸出的風透鏡，依前大後小、前小後大的順序放置定位，測前、後口徑所在風速大小。
 - 取相同的風透鏡。加上1.5公分的凸起，重複步驟2。

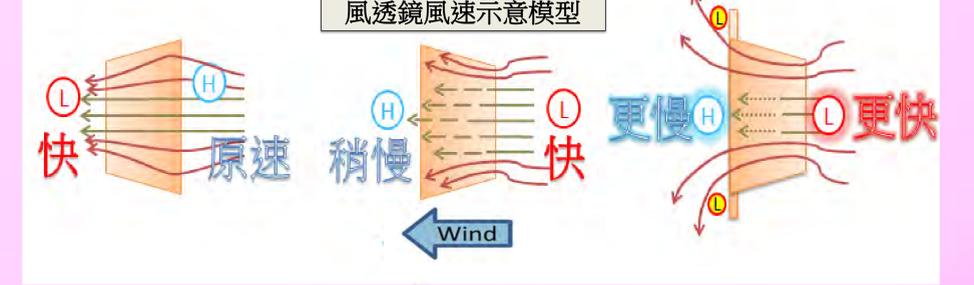


數據結果	後方風速 (m/s)	前方風速 (m/s)
自然風	3.5	3.6
前大後小	4.1	3.6
前小後大	3.8	4.1
有凸起	3.3	4.6



加了凸起的風透鏡，前端口徑小會使前方風速增加最多，但後方口徑大處風速驟減。

2. 引入從空氣質量守恆的觀點，若經過風透鏡的空氣流量固定面積大處分散空氣，流速慢，從白努力原理，是相對高壓(H)面積小處聚集空氣，流速快，從白努力原理，是相對低壓(L)



- 小結論：**
- 風透鏡口徑大處流速慢；口徑小處相對流速快。
 - 若將小口徑處朝向扇葉，皆可加速。但是前小後大的風透鏡，連後方大口徑處，都還比自然風更強，顯然有引入更多空氣。
 - 有加凸起的風透鏡，在後方能再產生低壓，讓前方空氣再加速。

發想：知道風速大小與風透鏡前後口徑、凸起的關係。加裝一個裝置，如何引導風流動，到底氣流是甚麼走向，能不能看見？

實驗(七)-2風透鏡流場顯像

水霧風洞抽氣裝置打光結果

氣流向外 偏移

氣流向外 加速

風扇抽氣

(1) 前大後小風透鏡

氣流內縮

風扇抽氣

(2) 前小後大風透鏡

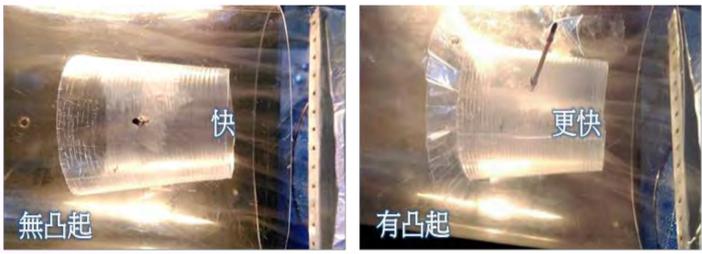
內部氣流 捲起

外部氣流

凸起 後方渦旋

風扇抽氣

(3) 前小後大有突起風透鏡

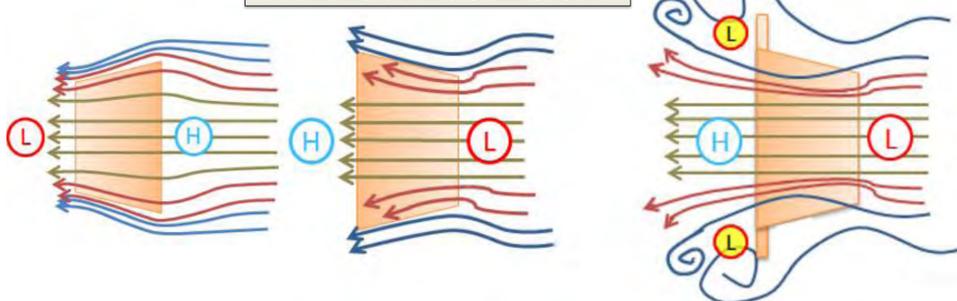


前小後大風透鏡有無突起 風速顯像相片比較

7-2小結論：

- 1.前大後小的風透鏡，會向外排風
- 2.前小後大的風透鏡，會向內聚風。
- 3.前小後大有凸起風透鏡，會在凸起後方形成低壓繞流，用壓力與風速解釋，能在凸起後部引流，進而由前往後加速推進，並從前方引入更多氣流。

風透鏡氣流運動模型示意圖



(1) 前大後小風透鏡

(2) 前小後大風透鏡

(3) 前小後大有突起風透鏡

綜合7-1的風速與7-2看見的氣流流向，進一步擴充了風透鏡的氣流震動模型，說明如下：
(1)大口朝外的風透鏡，不如開口面積多，反而會有氣流流失。
(2)小口朝外的風透鏡，能捕到更多風量，在開口處風量變多，為聚風之效果。
(3)小口朝外的風透鏡再加入凸起，能新增地在凸起後部產生捲起，估計是因為凸起而形成的低氣壓。更在風透鏡後方，造成一個由後推前向外帶、氣流往外並且加速的氣場。

實驗(七)-3 探討風速對發電功率的影響

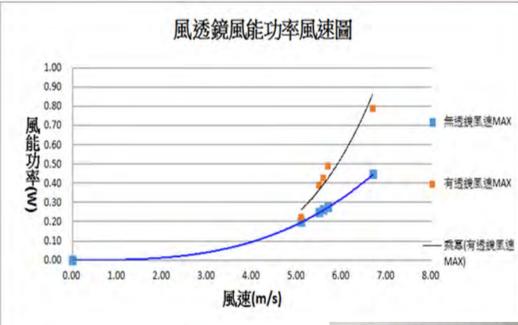
步驟

1. 將風源風罩移除，使用整流罩。
2. 將風源改為五種不同形式，200cm弱、150cm弱、100cm弱、100cm中、100cm強，並將風速計置於整流罩後十公分處(原扇葉處)，測原始風速。
3. 使用實驗6-2凸出1.5cm、直徑比7：10，寬度6cm的風透鏡，前端置於距整流罩10公分，將風速計置於風透鏡前圖標示處，測有風透鏡風速。
4. 將扇葉置於距整流罩10cm處，將電線固定於電表上。並以有無風透鏡，測量在不同風源大小的發電電壓。

立即討論：

1. 風速計會擋住扇葉，因此需要在相同條件下測風速與發電電壓。由風能功率公式得到理論原始風能功率
 $P_{\text{風能功率}}(W) = 0.5 * \rho * \text{空氣密度}(kg/m^3) * A_{\text{扇葉面積}}(m^2) * V^3 \text{風速立方}(m^3/s^3)$
 $\rho = 1.293 kg/m^3$ (1atm 25°C), $A = 2.7 * 2.7 * 3.14 = 22.8906 cm^2 = 0.00228906 m^2$
 從數據發現，相同風源，定點風速隨著加入風透鏡而提高，可用風能功率隨之提高，放大效率為 C_w 值可以達到1.77倍。
2. 我們將測得的電壓，根據電功率公式： $P_{\text{電功率}}(W) = V^2 \text{電壓平方}(V^2) / R_{\text{電阻}}(\Omega)$
 從發電電壓觀點看，不同風力下，假設發電扇葉電阻不變，電壓平方相除後，可得到有無風透鏡，發電電功率放大倍率 C_v 值，約為1.6-1.7倍
3. 在100公分弱風時，風能功率與電功率兩者放大效率 C_w 、 C_v 值最一致(1.64, 1.63)，顯示此距離為本研究最佳的風源點。

結果	原始風速 MAX(m/s)	原風能功率(W)	有風透鏡風速 MAX(m/s)	有透鏡風能功率(W)	風能放大倍率 C_w	原始風電壓(V)	有風透鏡之電壓(V)	電功率放大倍率 C_v
200cm弱風	5.10	0.20	5.30	0.22	1.12	2.27	3.19	1.97
150cm弱風	5.50	0.25	6.40	0.39	1.58	3.06	3.12	1.04
100cm弱風	5.60	0.26	6.60	0.43	1.64	3.56	4.54	1.63
100cm中風	5.70	0.27	6.90	0.49	1.77	3.85	4.98	1.67
100cm強風	6.70	0.45	8.10	0.79	1.77	4.02	5.13	1.63

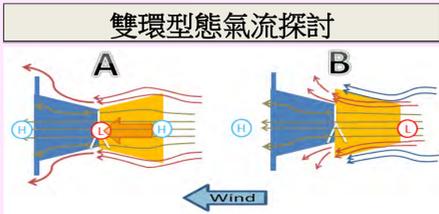


- 小結論:**
1. 各種風速下，只要加上風透鏡，不論風速或發電電壓都會增加，風透鏡的確能以增加入口風速，提高發電功率的事實。
 2. 風能效率公式【 $P = 0.5 * \rho * A * V^3$ 】推算出的風能為理想狀態，而電壓則是實作狀態，兩者的放大倍率強風時比較相近，大約1.6-1.8倍。

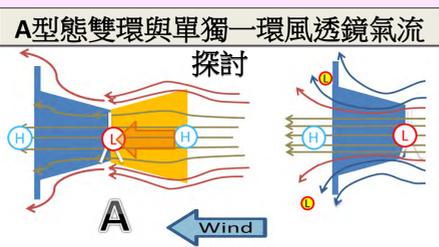
陸、整體討論

一、**氣流模型解釋進階實驗** 我們將7-2推導的流場模型加以應用，重新解釋第五、六部份的實驗結果。

(一) 實驗六-1，**A型態雙環**效果優於**B型態雙環**氣流探討



A型態前環的前端排風，使高低氣壓如圖，開端面積大，進風量不大，但高氣壓稍稍推進，對中央扇葉有些許加速效果。



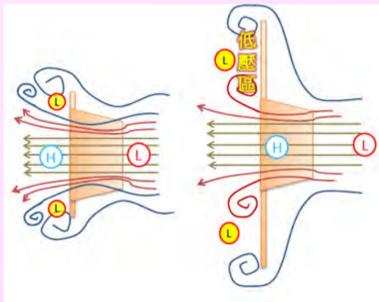
B型態前環前端聚風，到後端扇葉處面積加大，造成高壓，氣流減速，甚至在兩環相接扇葉處有漏風可能；又因外環氣流發散，後方藍色環的凸起能造成的低壓也不明顯，更無法增加中心風速。

(二) 實驗六-2，**單獨一環**優於**A型態雙環**氣流探討

A型態雙環相接時，右邊的黃色入口是大口徑，已經排開風到外環，所以進到扇葉的風量開始就不夠多；而右方單單一個聚風效果的風透鏡，開端能聚集到的風量，比起雙環A型態多了許多。

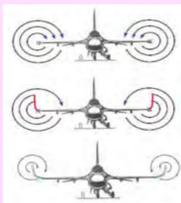
(三) 實驗五-4凸起到兩公分效果不彰，以及凸起之重新探討：

如果凸起裝置變大，低壓區也會相對放大。在一定的範圍內，低壓區是越長越好，它能夠抽動更多的氣流進去凸起後部而加速；但是凸起過長的話，會讓內外部的氣流個別進去，造成停滯而不會產生互相連鎖反應的卡門渦街，能夠抽動加速的中央氣流少了許多。



二、翼尖小翼裝置、風透鏡風罩、與凸起裝置之思辨

(一) 飛機的翼尖小翼是為了阻止機翼尾渦生成而設計，它可以有效阻礙上下翼面的空氣繞流，降低因翼尖尾渦造成的阻力，增加升力。



(二) 風透鏡的**圓型籠風罩**就能有翼尖小翼的功能。風機的葉片外型如同機翼，葉片在被風吹時，也會在尾端形成翼尖渦旋(噪音源)，風透鏡將其扇葉包覆住，如同翼尖小翼般把渦旋破壞，讓噪音消失。



(三) **凸起**思辨：先前我們認為風透鏡的凸起就是翼尖小翼的功能，但其實不是。凸起是另創的特殊裝置，是刻意讓凸起後方產生低氣壓，抽入更多風。翼尖小翼與凸起形狀類似，卻是**阻擋低壓繞流**，功能相反。

三、風透鏡模型進化順序

本實驗前後歷程，我們對風透鏡放大發電效果有不同解讀：

(一) 舊版解釋：

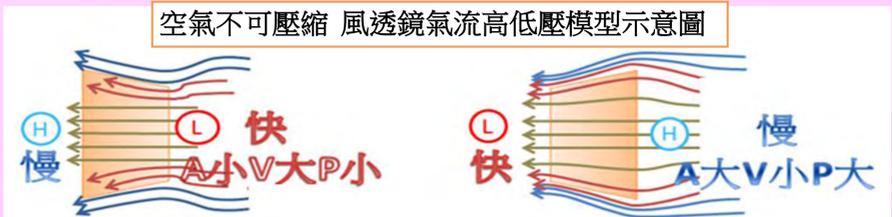
1. 從空氣壓縮、膨脹解釋空氣密度再解釋氣壓，前小後大型態是空氣在後方膨脹形成了低氣壓，前方有高氣壓推進，流速增快有利發電；前大後小型態則是空氣在後方壓縮而形成高氣壓，會有個往回推，干擾發電的氣流。
2. 從外型迷思探討聚風，前小後大型不聚風，前大後小型則有效聚風。



轉捩點：再進行文獻搜尋，發現流體速度在不超過0.3馬赫(Ma)時，是不可壓縮流，密度不會改變！尤其在風速與風場實驗，我們看見了流體行為，所以**重塑氣流運動，用新版模型去解釋風透鏡的放大效果。**

(二) 新版解釋：

1. 新理論之運用流體公式：
 質量守恆：風透鏡前後開口處風量相同，且密度不變質量流率定義：
 $\rho_1(\text{密度}) * A_1(\text{截面積}) * V_1(\text{速度}) = \Delta m(\text{質量}) / \Delta t(\text{時間}) = \rho_2 * A_2 * V_2$
2. 白努力公式流體流速快之處，壓力小形成低氣壓。前小後大型風透鏡開口截面積小，速度快，所以為低氣壓；前大後小型，開口面積大，速度慢，為高氣壓。**口徑小流量大，口徑大卻流量小。**



舊版為流體可壓縮模型，新版為流體不可壓縮模型，風透鏡神奇的放大效果適用新版模型

四、風機效能係數與風透鏡效率之辨正

- (一) 風機效能係數 C_p 是**實際發電功率**與**原始風能功率**的比值，
- (二) 研究7-3，我們探討**風透鏡效能值**(C_w 、 C_v)，為加風透鏡提高功率的倍率

- (三) 1. 透過風透鏡提升的效能值 C_w ，我們實驗值高達約1.7。
2. 三用電表無法測得含有風透鏡的發電功率來計算新的 C_p 值。
3. 含風透鏡風機原始 C_p 值* C_w ，有可能得到大於1的風機效能係數

柒、結論

扇葉前置環基礎探索

- 第一部分** 整流罩能使得風比較穩定，但也會減弱風源風量。
 - 第二部分** 前置環環距0cm、環半徑與扇葉半徑的比為5：2.7時、環寬度與扇葉和整流罩之距的比為4：10時效果最好。
 - 第三部分** 風源離整流罩距離越近，扇葉發電電壓無明顯比例關係。
 - 第四部分** 前小後大的風透鏡，當環距為0時，環放在後方有較佳的效果。
- 扇葉後置環進階探索**
- 第五部分** 後置風透鏡如翼尖小翼的凸起，可以阻擋後方捲入的氣流，確實可以增大進風量。

第六部分

單一一個有凸起的後置風透鏡，有更大的發電效率。

第七部分

- (一)前大後小、前小後大的風透鏡，都是口徑大處流速慢；口徑小處則較快。有凸起的風透鏡，能再形成低壓，增強風速。
- (二)前大後小的風透鏡，捕到的風少；前小後大的風透鏡，卻能捕到更多風。前大後小多了凸起的風透鏡，更能推入大量的風。
- (三)風透鏡能增進口徑風速，增加發電功率，本測試做的簡易風透鏡效能值大約**1.7倍**。