中華民國 第49屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組　生活與應用科學科

第二名

080825

『隨風不轉舵』

-垂直軸風力發電機之研究與應用

學校名稱：臺北縣泰山鄉同榮國民小學

作者：	指導老師：
小六 洪毅	姜文斌
小六 王子豪	邱月良
小六 羅昀謙	
小六 蔡馥宇	
小六 黃秋蓉	
小六 許碩芬	

關鍵詞：風力發電、電磁效應

摘要

由於地球溫室效應所產生的問題日益嚴重，風力發電已是近幾年來重要發展的綠色能源。而在風力發電機的類型中，由於垂直軸風力發電機最大優點是可接受來自任何方向的風、結構簡單，以及葉片轉動範圍小，因此本研究將應用垂直軸風力發電機的發電原理，設計可供日常生活使用的小型電器用品。

我們統一以 2L 寶特瓶設計葉片，並針對各項變因進行探究，最後發現：在高低不同的風速下，以 4 葉片、葉寬 3 cm、葉長 13.5 cm、葉片斜角 5 度的葉片是發電效能最好的葉片組。運用這項研究結果，並更換發電效能較強的發電機，我們製作了一組「垂直軸風力發電小燈籠」，它除了可讓 led 燈泡發光提供照明外，我們也加入了金屬電網，讓它也兼具補蚊燈的功能。

壹、　研究動機

在一次假日旅遊中，爸爸帶我們全家到台北縣石門鄉「老梅石槽海灘」參觀。在海灘附近的小餐廳前，我發現了一座很特殊的物體（如圖 1、2），我問爸爸那是什麼東西？爸爸告訴我那是一座風力發電機組－**「垂直軸風力發電機」**，是利用海邊的強風來發電的。

這項設備與我在自然課本中（康軒版六上第 4 單元「電磁作用」）所學到的風力發電機組非常不相同：**1.他沒有像螺旋槳一樣的葉片。2.葉片長度較短，外環葉片像打蛋器，內圈像水車的葉片。3.葉片旋轉的範圍也不大，旋轉時是水平轉動，並非垂直轉動。**

這些差異引起我極大的探究興趣，**「垂直軸風力發電機」**與我們平常見到的風力發電機組—**「水平軸風力發電機」**（如圖 3）到底有哪些地方不同？它們的發電效能有哪些差異？「垂直軸風力發電機」的葉片要如何設計，才能產生最高的電力？可不可以應用上述研究的結果，以常見的資源回收材料—寶特瓶，來設計風力發電機的葉片組，製作一組發電效能良好，能讓 LED 燈泡發光及補蚊功能的「垂直軸風力發電小燈籠」。

如果這項研究能夠成功，那麼以後在元宵節時提燈籠，我們就不用再花錢買電池了。而各地舉辦燈會的廟宇或機關團體，也可以運用這項技術，靠風力來發電，省下大筆的電費，達到節能減碳的目的。

圖 1　老梅石槽海灘上的垂直軸風力發電機

圖 2　葉片近照

圖 3　水平軸風力發電機

貳、　研究目的

一、了解風力發電的原理和電學基本知識。

二、認識垂直軸風力發電機與水平軸風力發電機之構造及特性

三、探究垂直軸風力發電機葉片數與發電效能的關係

四、探究垂直軸風力發電機葉片寬度大小與發電效能的關係

五、探究垂直軸風力發電機葉片長度大小與發電效能的關係

六、探究垂直軸風力發電機葉片斜面角度與發電效能的關係

七、找出垂直軸風力發電機發電效能最佳的葉片設計類型

八、製作一組多功能的「垂直軸風力發電小燈籠」

參、　研究設備及器材

一、資源回收材料：2L 裝寶特瓶、氣球棍、底片盒。

二、蒐集材料：手搖式發電手電筒、齒輪組、用剩的密集板、冰棒棍、電蚊拍。

三、購買材料：木條、粗鐵絲、LED 燈泡、發電機組（四驅車馬達、太陽能發電專用馬達、風力發電專用馬達）。

四、工具：電鑽、銲槍、熱熔槍、工業型風扇。

五、測量儀器：三用電錶（圖 4）、數位式風速計（圖 5）、量角器、三角板、碼錶。

圖 4　三用電錶

圖 5　數位式風速計

肆、 研究過程或方法

一、 文獻探討

【風力發電原理】：是藉由空氣的氣動力作用（包括升力及阻力）轉動**葉片**以擷取風的動能（圖 6），最後再透過**發電機**運用「電磁作用」的原理（圖 7），將動能轉換為電能。風力發電的效能會受到下列幾項影響：1. 風速。2. 葉片設計。3. 葉片受風面積。

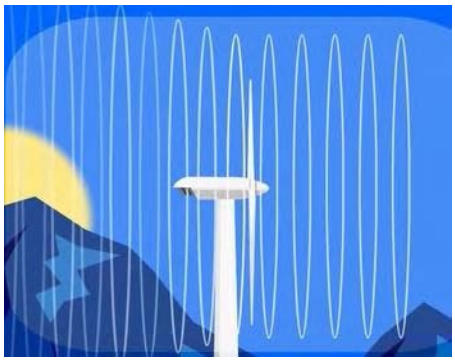


圖 6 水平軸風力發電葉片運作狀況

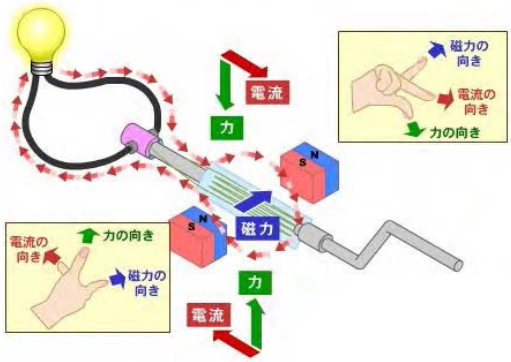


圖 7 發電機電磁作用原理

二、 準備工作

（一） 製作簡易整流風洞

（二） 製作水平軸風力發電機組（詳見附件一）

（三） 製作垂直軸風力發電機組

為了了解垂直軸風力發電機的運作，我們以身旁蒐集到的材料，製作了一組簡易的垂直軸風力發電機（圖 8），其裝置及結構如下述說明：

1. 基座：將切割好的密集板，以熱熔膠組合出放置發電機及齒輪組之裝置空間，並固定於基座底板上（圖 9）。
2. 發電機組
   (1)第一代（圖 10）：我們將蒐集到的贈品—手搖式發電手電筒（圖 11）外殼拆開，移除了手搖桿後留下推動齒輪及發電機組，為了增強發電機的轉動速度，我們在傳動轉軸接上了另一組齒輪來帶動發電機，齒輪比為 30：15。但裝上葉片組後測試，即使在風速 9.4m/sec 較強的風力下仍無法推動發電機。
   (2)第二代（圖 12）：在第一代發電機組裝失敗後，我們請教老師為何無法推動的原因？原來是手搖式發電手電筒中的發電機組磁力較強，若再透

過齒輪組推動，那阻力更大，因此老師建議我們先將齒輪組拆掉，直接接上傳動轉軸即可。於是我們拆掉了齒輪組，使用底片盒蓋及冰棒棍將發電機與傳動轉軸緊密結合（圖 13）。完成後我們實地測試轉動情形，雖可以順利轉動，但轉動速度慢，發電效能也不佳。

(3)第三代（圖 14）：我們改用了太陽能船競賽留下的馬達，因為它的轉動阻力較小，體積也不大，很適合將來裝置於燈籠上。完成安裝後實地測試，轉動速度不但更快了，發電的電壓也超過了 200mV。於是第三代發電機組成為我們日後進行發電效能測試所使用的機組。

3. 傳動轉軸（圖 14）：為了兼顧重量輕及增加傳動轉軸長度，我們使用蒐集來的汽球棍做為連結葉片組的傳動轉軸，並利用底片盒、拉釘、冰棒棍及原子筆芯，連結發電機組（圖 15）。

4. 轉軸支撐架：由於我們使用重量較輕，但彈性較佳的氣球桿當做傳動轉軸，若頂端沒有任何支撐點，當強風吹動時，傳動轉軸便會彎曲變形，影響葉片組的轉動。因此我們利用寬度不同的木條，將其切割後組裝成 A 字形的支撐架（圖 16）。

5. 葉片組（圖 17）：為了兼顧環保、重量輕與規格統一，我們採用了 2L 裝寶特瓶做為葉片組的製作材料。我們取寶特瓶中段瓶身做為切割葉片的主要區域，因為在這個區域的瓶身無任何彎曲轉折，較不會影響葉片的製作與精確度。

6. 電力輸出線（圖 18）：為了方便使用三用電錶測量發電電壓大小，我們將發電機組的輸電線延長至基座邊緣，並以熱熔膠固定，以防止電線扯斷脫落。

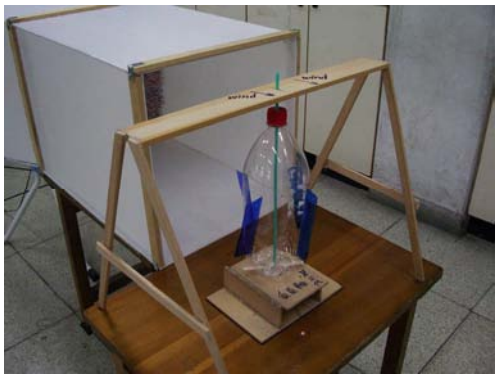


圖 8　自製垂直軸風力發電機

圖 9　基座底板

圖 10　第一代發電機組

圖 11　手搖式發電手電筒

圖 12　第二代發電機組

圖 13　將發電機與傳動轉軸緊密結合

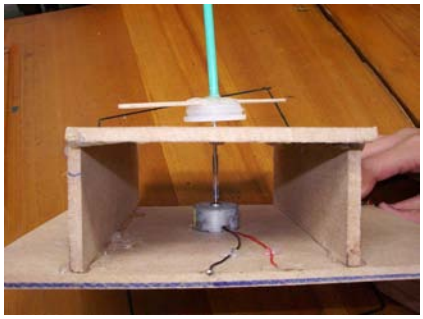


圖 14　第三代發電機組

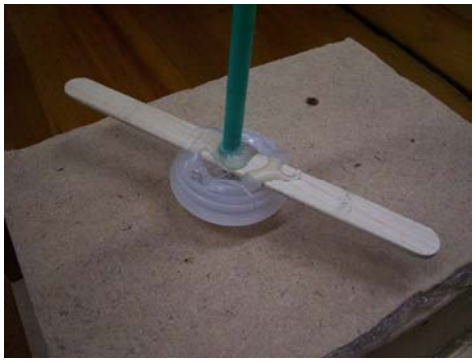


圖 15　利用底片盒、冰棒棍連結發電機組

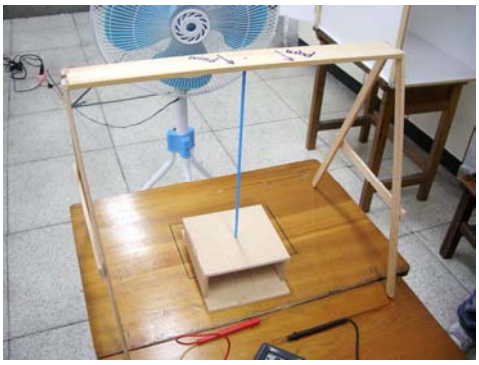


圖 16　轉軸支撐架

圖 17　以 2L 裝寶特瓶做成的葉片組

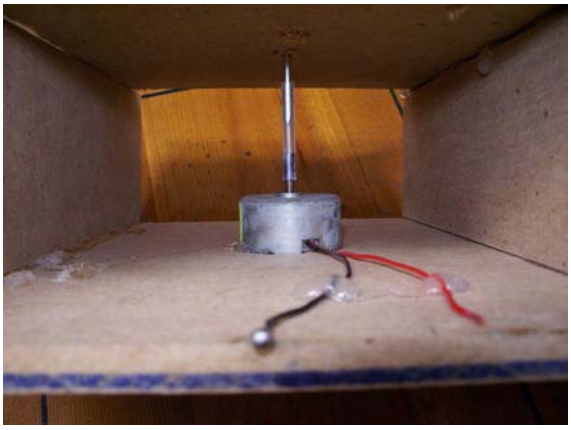


圖 18　電力輸出線

三、　進行水平軸風力發電機與垂直軸風力發電機運作測試

（一） 水平軸風力發電機的測試（圖 19）：

圖 19　水平軸風力發電機運轉測試

我們製作了長度、寬度各式不同的葉片組進行測試，雖然測量結果符合截封面積越大產生的電力越強（詳見附件二），但發現葉片的長度若超過 20 公分以上，當風速越強時，葉片會彎曲變形而撞擊到支撐桿，導致轉速下降，無法進行準確的測量，因此我們認為若要製作發電效能較佳的水平軸風力發電機，需要加長葉片長度，但葉片越長它的結構強度就要更強，否則就會產生上述說明的狀況。

風向對水平軸風力發電機之發電效能影響

為了了解風向對於水平軸風力發電機發電效能的影響，我們將發電機進行定

位，分別為前方、後方、右方、左方等四個方位（圖 20），並針對各方位進行發電效能測試。

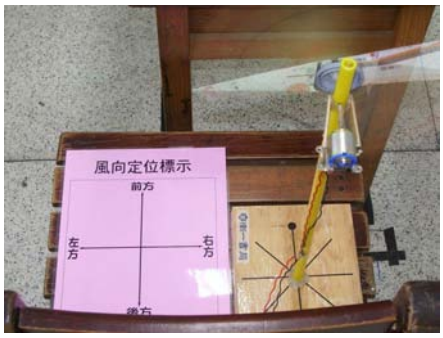


圖 20　水平軸風力發電機不同風向運轉測試

風力方位	前方（逆風）	後方（順風）	右方	左方
照片				
發電狀況	發電機可轉動，發電電壓為 192mV	發電機可轉動，發電電壓為-137mV	發電機無法轉動，發電電壓為 0mV	發電機無法轉動，發電電壓為 0mV
說明	由上述測試的結果發現：水平軸風力發電機在葉片逆風時發電效能較佳，順風時產生的電壓為負值，而在左右方側風時，則無法發電。因此水平軸風力發電機設置時，需要考量風向並加裝風舵，否則對發電效能會產生很大的影響。			

（二） 垂直軸風力發電機的測試（圖 21）：

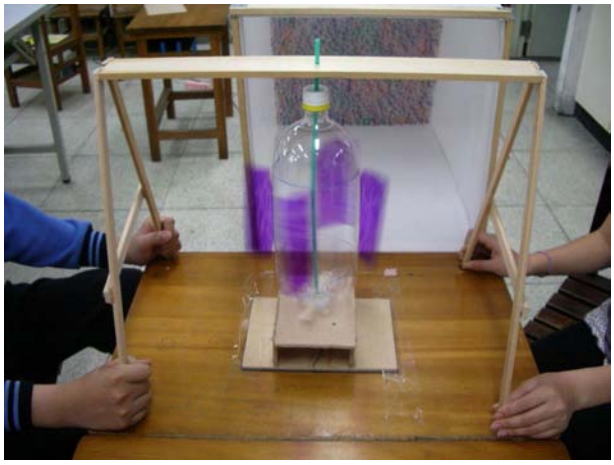


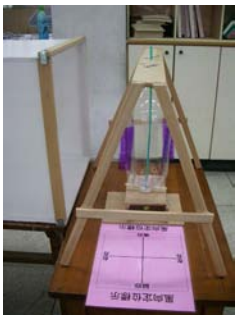
圖 21　垂直軸風力發電機運轉測試

根據寶特瓶瓶身的特性，我們採用了四葉片 S 型的垂直軸風力發電機葉片組（葉長 13.5 公分、葉寬 7 公分）進行測試，測試結果發現發電效能比我們製作的水平軸風力發電機的還要好，發電電壓均在 100mV 以上。因此我們之後的研究便以這組垂直軸風力發電機做為發電機組。

風向對垂直軸風力發電機之發電效能影響

為了了解風向對於垂直軸風力發電機發電效能的影響，我們將發電機進行定位，分別為前方、後方、右方、左方等四個方位（圖 22），並針對各方位進行發電效能測試。

圖 22　垂直軸風力發電機不同風向運轉測試

風力方位	前方（逆風）	後方（順風）	右方	左方
照片				
發電狀況	發電機可轉動，發電電壓為 304mV	發電機可轉動，發電電壓為 298mV	發電機可轉動，發電電壓為 312mV	發電機可轉動，發電電壓為 307mV
說明	由上述測試的結果發現：垂直軸風力發電機不論在順風、逆風，或是左右側風時，葉片組均可順暢轉動，發電電壓值也相當接近。因此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組。			

四、 研究垂直軸風力發電機葉片變化對發電效能的影響

（一） 實驗一：哪一種葉片數的垂直軸風力發電機發電效能最好？

目的：研究葉片數多寡是否會影響發電效能

步驟：

1. 以 2L 裝寶特瓶依附件三規格製做出二葉片、三葉片、四葉片、五葉片、六葉片的葉片組。（葉長 13.5 cm、葉寬 3 cm、葉形為長方形、葉片折角與瓶身成 90 度）

圖 23 切割不同葉片數

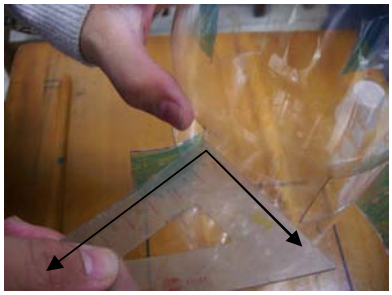


圖 24 葉片折角與瓶身成 90 度

2. 切割好的寶特瓶以油性麥克筆在長方形葉片處著上不同顏色，以利區別及觀察。

圖 25 在長方形葉片著上不同顏色

3. 將第三代垂直軸風力發電機固定於簡易整流風洞測量區之桌面上（於桌面

標示出擺置區，並以膠帶固定)，以防止位置偏移影響葉片轉動。

圖 26　以膠帶固定發電機

4. 將各葉片數葉片組安裝於第三代垂直軸風力發電機的傳動轉軸，並以轉軸支撐架固定。

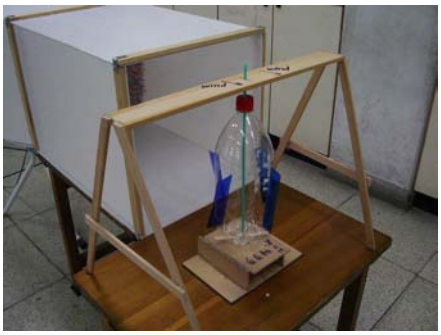


圖 27　以轉軸支撐架固定

圖 28　轉軸支撐架定位

5. 啟動風扇第二檔位測量出風口之風速為 5.4m/sec。

圖 29　數位式風速計測量風速大小

6. 以三用電錶分別測量垂直軸風力發電機所發出的電壓值（五秒內最高值）連續 6 次並記錄。
7. 啟動風扇第一檔位測量出風口之風速為 7.4 m/sec。
8. 以三用電錶分別測量垂直軸風力發電機所發出的電壓值（五秒內最高值）連續 6 次並記錄。

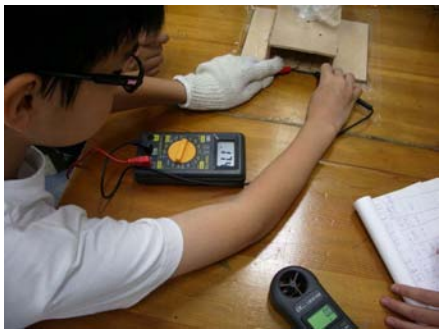


圖 30　以三用電錶測量垂直軸風力發電機所發出的電壓值

（二）　實驗二：哪一種葉片寬度的垂直軸風力發電機發電效能最好？

目的：研究葉片寬度變化是否會影響發電效能

步驟：

1. 以 2L 裝寶特瓶依附件三規格製做出葉寬 2.5 cm、3 cm、4 cm、5.5 cm、7 cm 的葉片組。(葉長 13.5 cm、葉形為長方形、四葉片、葉片折角與瓶身成 90 度)
2. 其他步驟同實驗一步驟 2~8。

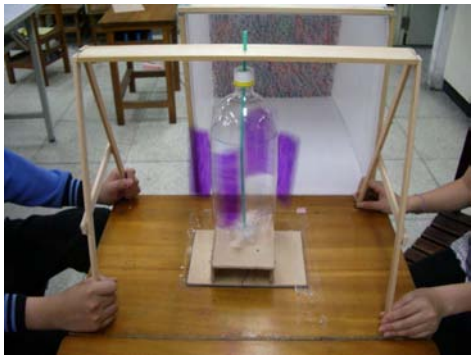


圖 31　安裝不同寬度的葉片進行發電效能測量

（三）　實驗三：哪一種葉片長度的垂直軸風力發電機發電效能最好？

目的：研究葉片長度變化是否會影響發電效能

步驟：

1. 以 2L 裝寶特瓶依附件三規格製做出葉長 4 cm、7 cm、10 cm、13.5 cm的葉片組。(葉寬 3 cm、葉形為長方形、四葉片、葉片折角與瓶身成 90 度)
2. 其他步驟同實驗一步驟 2~8。

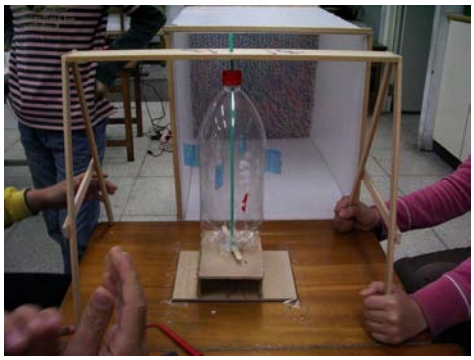


圖 32　安裝不同長度的葉片進行發電效能測量

（四）　實驗四：哪一種葉片斜角的垂直軸風力發電機發電效能最好？

目的：研究葉片斜角變化是否會影響發電效能

步驟：

1. 以 2L 裝寶特瓶依附件三規格製做出葉片斜角 5 度、10 度、15 度、20 度的葉片組。(葉寬 3 cm、葉長 13.5 cm、葉形為長方形、四葉片、葉片折角與瓶身成 90 度)
2. 其他步驟同實驗一步驟 2~8。

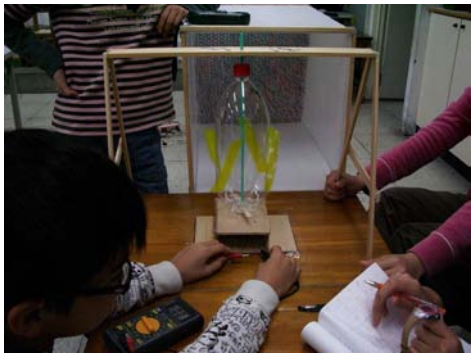


圖 33　安裝不同斜角的葉片進行發電效能測量

五、　製做並測試『垂直軸風力發電小燈籠』

由上述各項實驗的結果找到發電效能最好的葉片組設計規則，葉片數為 4 葉片、葉寬 3 cm、葉長 13.5 cm、葉片斜角為 5 度、葉形為長方形，我們應用了這個研究結果將他應用到「垂直軸風力發電小燈籠」的製作上，製作的方法如下：

（一）　以 2L 裝寶特瓶切割出葉片數為 4 葉片、葉寬 3 cm、葉長 13.5 cm、葉形為長方形、葉片斜角為 5 度的葉片組。

圖 34　垂直軸風力發電小燈籠使用的葉片組

（二）　我們為了增強發電電壓，採用了風力發電專用的發電機組，將發電機組傳動轉軸上的齒輪接於 2L 裝寶特瓶的瓶蓋上，並以熱熔膠固定。

圖 35　發電機轉軸安裝於固定瓶蓋

圖 36　以熱熔膠固定接合處

（三）　利用 14#的鐵絲彎曲出兩條支架，將其一端連接於電機組的固定板，另一端則插入瓶身底部的轉孔中。

圖 37　鐵絲連接於電機組的固定板

圖 38　葉片組底部固定軸

（四）　將發電機組的電力傳輸線正負極接於 LED 燈泡組。

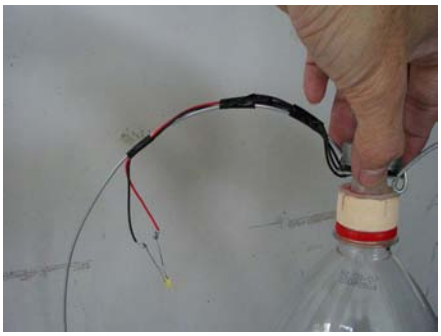


圖 39　連接 LED 燈泡至發電機輸電線

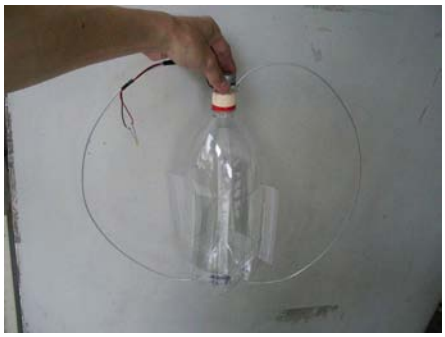


圖 40　垂直軸風力發電小燈籠組裝完成

（五） 利用簡易整流風洞依不同風速進行測試(2.6m/sec、5.4m/sec、7.4m/sec)。

六、 安裝儲電裝置及金屬電網

（一） 為了儲存垂直軸風力發電小燈籠於白天所產生的電力，我們由電子材料行購得簡易的儲電裝置（圖 41)，並將發電機輸電線連結於正負極。

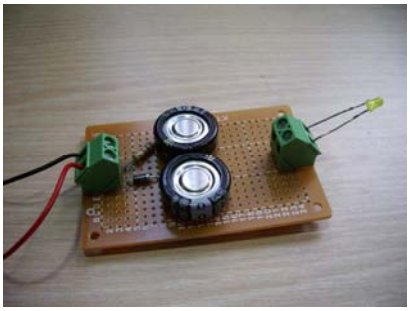


圖 41 簡易的儲電裝置

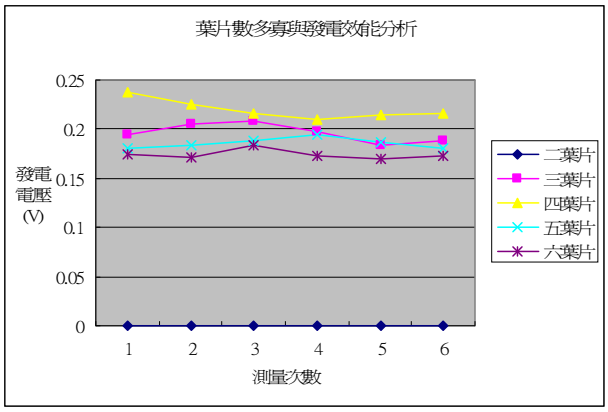
（二） 為了使垂直軸風力發電小燈籠具有補蚊的功能，我們將家中的電蚊拍拆解，取下內部電路板及金屬電網（圖 42)，將它連結於儲電裝置上。

圖 42 拆解家中的電蚊拍，將它連結於儲電裝置上。

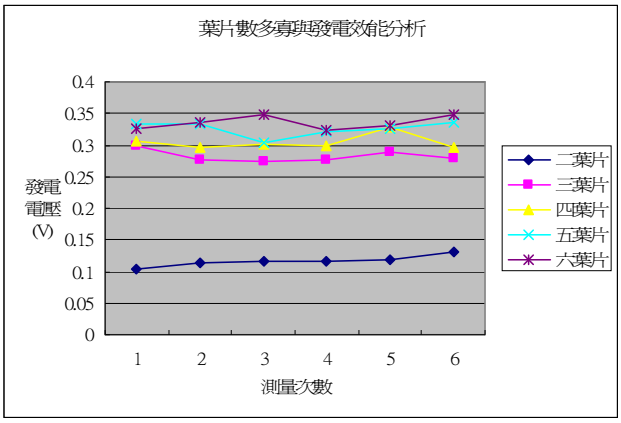
伍、 研究結果

一、 實驗一（葉片數多寡是否會影響發電效能）研究結果：

（一） 以風速 5.4 m/sec 進行測試時，以四葉片發電電壓值最高，六葉片發電電壓值倒數第二，二葉片發電電壓值最低。

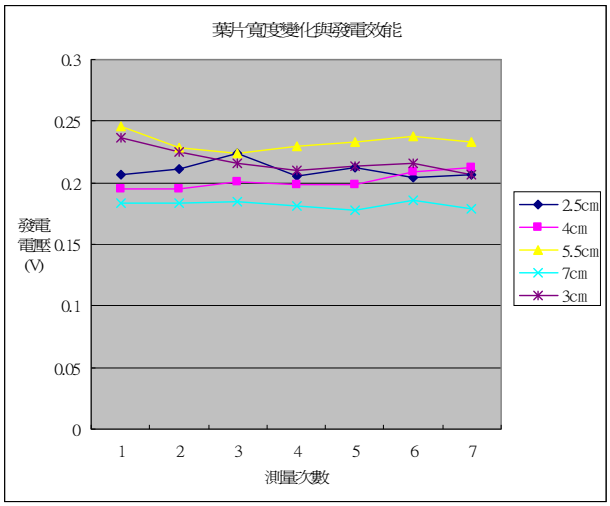


（二） 以風速 7.4 m/sec 進行測試時，以六葉片發電電壓最高，四和五葉片發電電壓次之，二葉片發電電壓值最低。

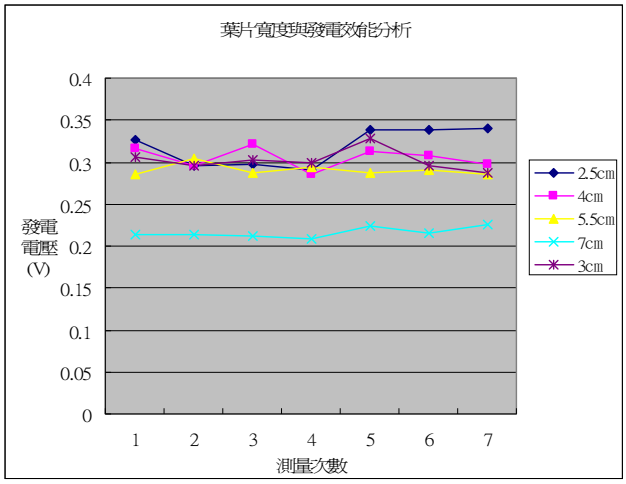


二、 實驗二（葉片寬度變化是否會影響發電效能）研究結果：

（一） 以風速 5.4 m/sec 進行測試時，以葉寬 5.5 cm發電電壓值最高，葉寬 3 cm發電電壓值第二，葉寬 7 cm發電電壓值最低。

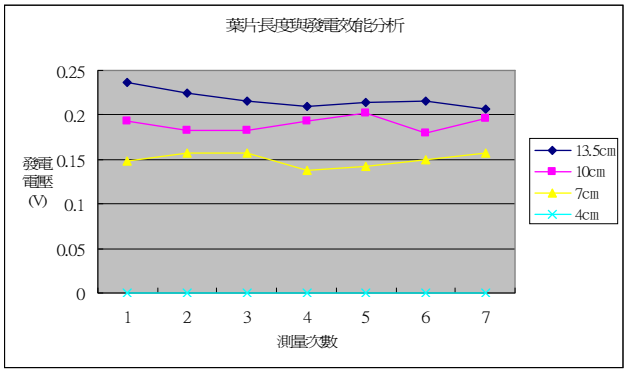


（二） 以風速 7.4 m/sec 進行測試時，以葉寬 2.5 cm及 3 cm發電電壓值較高，葉寬 5.5 cm發電電壓值居第 4，葉寬 7 cm發電電壓值最低。

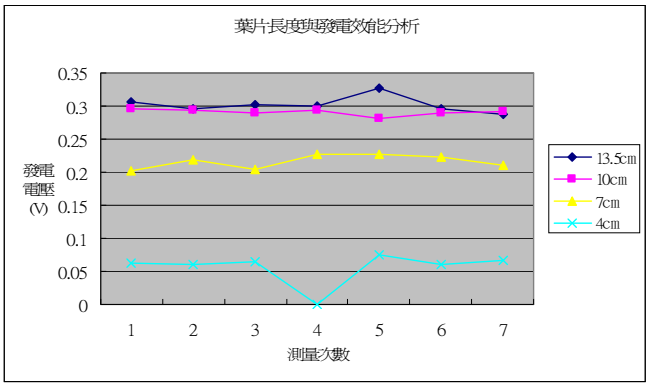


三、　實驗三（研究葉片長度變化是否會影響發電效能）研究結果：

（一）以風速 5.4m/sec 進行測試時，葉長 13.5 cm發電電壓值最高，葉長 10 cm發電電壓值次之，葉長 4 cm發電電壓值最低。

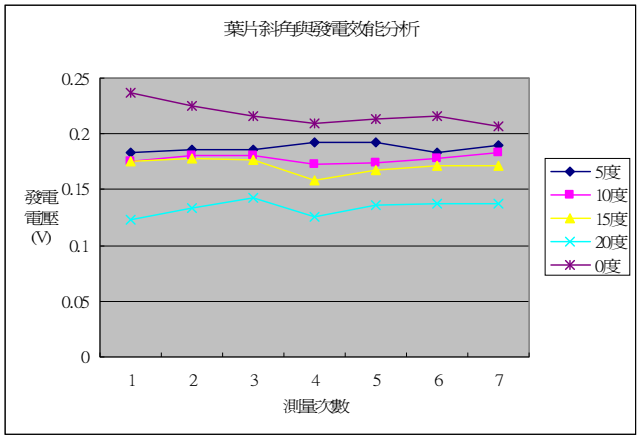


（二）以風速 7.4m/sec 進行測試時，葉長 13.5 cm發電電壓值最高，葉長 10 cm發電電壓值次之，葉長 4 cm發電電壓值最低。

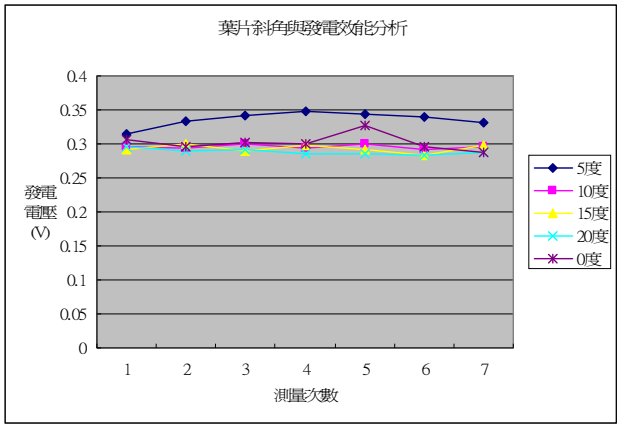


四、　實驗四（研究葉片斜角變化是否會影響發電效能）研究結果：

（一）以風速 5.4m/sec 進行測試時，葉片斜角 0 度發電電壓值最高，葉片斜角 5 度發電電壓值次之，葉片斜角 20 度發電電壓值最低。



（二）以風速 7.4m/sec 進行測試時，葉片斜角 5 度發電電壓值最高，葉片斜角 0 度發電電壓值次之，但與葉片斜角 10、15、20 度發電電壓值相當接近。



五、 『垂直軸風力發電小燈籠』測試結果：

（一） 以風速 2.6m/sec 進行測試時，無法讓 LED 燈泡發光。

圖 43 LED 燈泡未發光

（二） 以風速 5.4m/sec 進行測試時，可讓 LED 燈泡發光，但亮度微弱。

圖 44 LED 燈泡發光亮度微弱。

（三） 以風速 7.4m/sec 進行測試時，可讓 LED 燈泡發光，且產生較高的亮度。

圖 45 LED 燈泡發出較高亮度

圖 46 LED 燈泡發光近照

六、 『儲電裝置及金屬電網』測試結果：

（一） 儲電裝置經過垂直軸風力發電小燈籠的電力補充後，即使在沒有風的時候也可以讓 LED 燈泡發光。

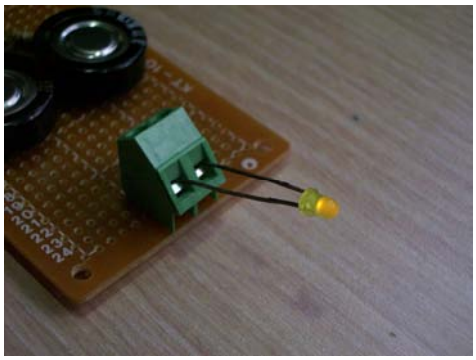


圖 47　經過充電後的儲電裝置可讓 LED 燈泡發光

（二）　連接儲電裝置的金屬電網，可產生電擊效果，電路板上的指示燈亮起，表示通電正常。

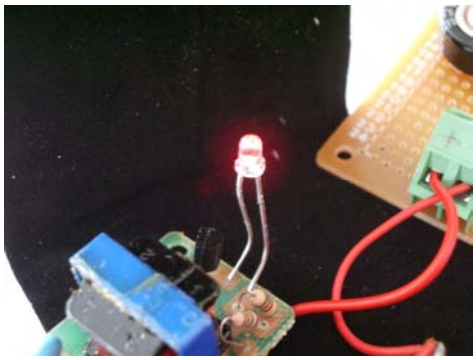
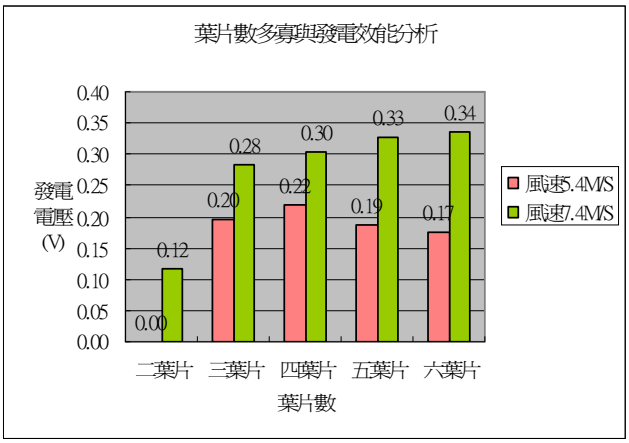


圖 48　電路板上的指示燈亮起

陸、　討論

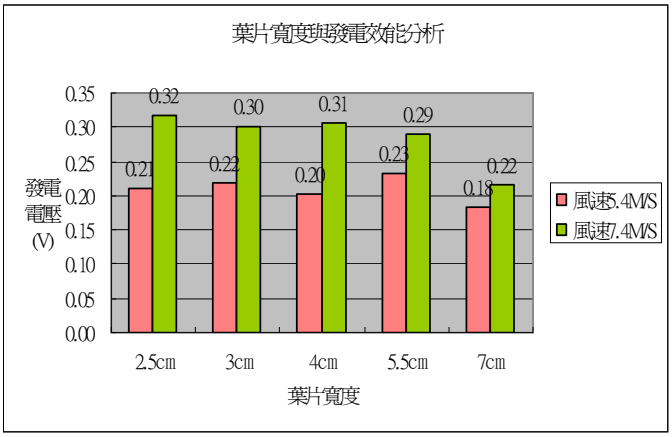
一、　討論葉片數多寡是否會影響發電效能：

由以下長條圖的比較中，我們發現雖然在風速 7.4m/sec 時，發電效能會與葉片數多寡成正比，六葉片的發電效能最好，四葉片的發電效能居於第三順位。但在風速 5.4m/sec 時，葉片數越多發電效能反而越低，其中四葉片的發電效能最好，六葉片的發電效能反而居第四順位。這是因為過多的葉片排列過密，反而容易相互阻擋風力來源，而四葉片的設計卻不會產生這樣的風力干擾。



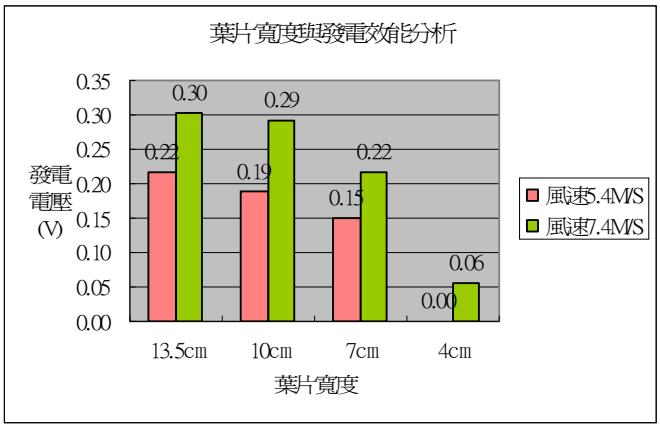
二、 討論葉片寬度變化是否會影響發電效能：

由以下長條圖的比較中，我們發現在風速 7.4m/sec 時，葉片寬度越寬發電效能有下降的趨勢，其中葉寬 3 cm不論在風速 5.4m/sec 及 7.4m/sec 時，發電效能均居於第二位，而其他葉片組則變化較大，無法保持較高的發電電壓。



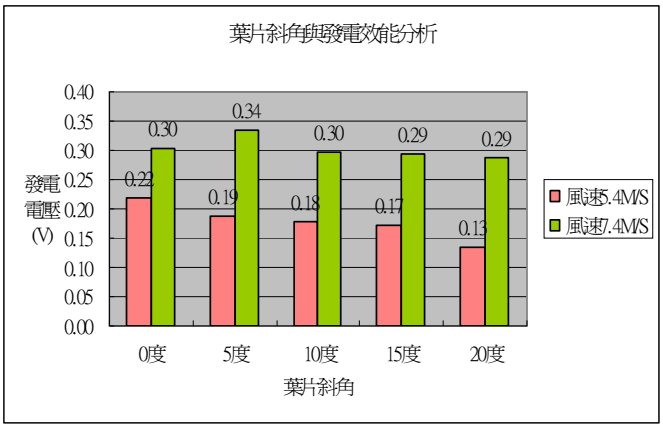
三、 討論葉片長度變化是否會影響發電效能：

由以下長條圖的比較中，我們發現不論在風速 5.4m/sec 及 7.4m/sec 時，葉片長度越長，其發電效能越好，與發電效能成正比的關係。發電效能最好的是葉片長度 13.5 cm的葉片組，發電效能最差的是葉片長度 4 cm的葉片組。上述結果吻合了葉片受風面積大小與發電效能成正比的關係。



四、 討論葉片斜角變化是否會影響發電效能：

由以下長條圖的比較中，我們發現在風速 5.4m/sec 時，葉片斜角角度越小，其發電效能越好，與發電效能成反比的關係。但在風速 7.4m/sec 時，葉片斜角 5 度發電效能卻高於葉片斜角 0 度的葉片組。我們認為風速較大時，葉片斜角具有導引氣流的作用，能讓氣流穩定吹過葉片組，而葉片斜角 0 度的葉片組，則無導引氣流的作用，因此無法有效利用強風的推動。



五、　討論『自製垂直軸風力發電小燈籠』的發電效能：

由實際測試結果中，我們發現運用本研究最佳發電效能之葉片組（葉片數為 4 葉片、葉寬 3 cm、葉長 13.5 cm、葉片斜角為 5 度、葉形為長方形）進行垂直軸風力發電小燈籠製作，可以讓 LED 燈泡組發光，並依照風速強弱，讓 LED 燈泡發出不同的亮度；風速越強，LED 燈泡發出的光線越強。

六、　討論儲電裝置及金屬電網的效能：

由於金屬電網所需的電壓僅需 1V 以下，即可透過電路板的變壓器轉換為 1.8V 的電壓，提供金屬電網電擊使用，因此將此裝置連接於垂直軸風力發電小燈籠上，加上儲電裝置的穩定供電，便可讓金屬電網產生電擊蚊蟲的功能。

柒、　結論

一、水平軸風力發電機若要增強發電量，需要加長葉片；但加強的葉片若材質不夠堅硬，葉片很容易變形，而撞擊到支撐桿，影響發電的效能並發生危險。

二、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。

三、水平軸風力發電機在葉片逆風時發電效能較佳，順風時產生的電壓為負值，而在左右方側風時，則無法發電。因此水平軸風力發電機設置時，需要考量風向並加裝風舵，否則對發電效能會產生很大的影響。

四、垂直軸風力發電機不論在順風、逆風，或是左右側風時，葉片組均可順暢轉動，發電電壓值也相當接近。因此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組。

五、以 2L 裝寶特瓶做為葉片組，在不同風速下，垂直軸風力發電機的葉片數以 4 葉片的發電效能最好、最穩定。

六、以 2L 裝寶特瓶做為葉片組，在不同風速下，垂直軸風力發電機的葉片寬度以 3 cm的發電效能最好、最穩定。

七、以 2L 裝寶特瓶做為葉片組，在不同風速下，垂直軸風力發電機的葉片長度以 13.5 cm的發電效能最好、最穩定。

八、以 2L 裝寶特瓶做為葉片組，在不同風速下，垂直軸風力發電機的葉片斜角以 5 度的發電效能最好、最穩定。

九、以 2L 裝寶特瓶做為葉片組，若要在不同的風速下產生較佳的發電效能，我們認為葉

片設計規則是：葉片數為 4 葉片、葉寬 3 cm、葉長 13.5 cm、葉片斜角為 5 度、葉形為長方形。

十、將上述葉片設計規則運用到「自製垂直軸風力發電小燈籠」的葉片組上，可讓 LED 燈泡發光，並依不同風速發出不同強弱的光線。

十一、 利用儲電裝置的功能，可將垂直軸風力發電小燈籠發出的電力儲存起來，提供其他電器使用，如電蚊拍等。

十二、 經由本次研究，我們不但對風力發電有了更進一步的認識，更發現了垂直軸風力發電機葉片的各項變化，對發電效能有極大的影響。而運用這次研究的成果，我們完成了一部結合資源回收材料及綠色能源的小型垂直軸風力發電機，並將他應用於補蚊燈的製作上。

捌、 參考資料及其他

一、康軒版六上自然與生活科技課本 第四單元。

二、風力發電。中華太陽能聯誼會。2009 年 3 月 21 日，取自：http://www.solar-i.com/wi.htm

三、中華民國第四十八屆中小學科學展覽會—風力發電之葉片設計及其應用

四、高敏聰。電工概論與實習。臺北市：復文書局

附件一：

製作水平軸風力發電機組

為了了解水平軸風力發電機的運作，我們以身旁蒐集到的材料，製作了一組簡易的水平軸風力發電機（圖 1)，其裝置及結構如下述說明：

1. 基座與支撐桿：我們以自然科風向計教具及扯鈴棍為材料，利用熱熔膠將它們結合，並以電鑽在扯鈴棍上鑽出以後要連接葉片轉軸的孔洞（圖 2)。
2. 葉片組：我們以底片盒蓋、平齒輪及拉釘先組合出葉片組的轉軸部份，然後再以不要的紙墊板切割出長方形葉片，並延著長方形對角線折出 30 度的折角，使葉片成為螺旋槳狀（圖 3、4)。
3. 發電機組：我們以家中軌道車的馬達為發電機（圖 5)，利用冰棒棍將它固定在支撐桿上，並以原子筆芯接上發電機轉軸，另一端則接上葉片組，如此，便能簡易的更換及安裝不同的葉片組。
4. 電力輸出線：在發電機組電力輸出之正負極，分別接上紅色與黑色細電線，將電線順著支撐桿延伸至基座底部，以方便使用三用電錶測量發電電壓大小。

圖 1　自製的水平軸風力發電機

圖 2　以電鑽在扯鈴棍上鑽出連接葉片轉軸的孔洞

圖 3　以底片盒蓋、平齒輪及拉釘先組合出葉片組

圖 4　延著長方形對角線折出 30 度的折角

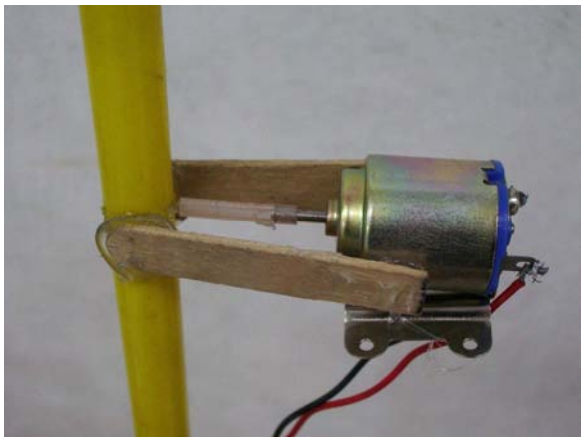


圖 5　利用冰棒棍將發電機固定

附件二：

水平軸風力發電機發電效能測試數據表

雙葉片　　葉片寬度：2cm

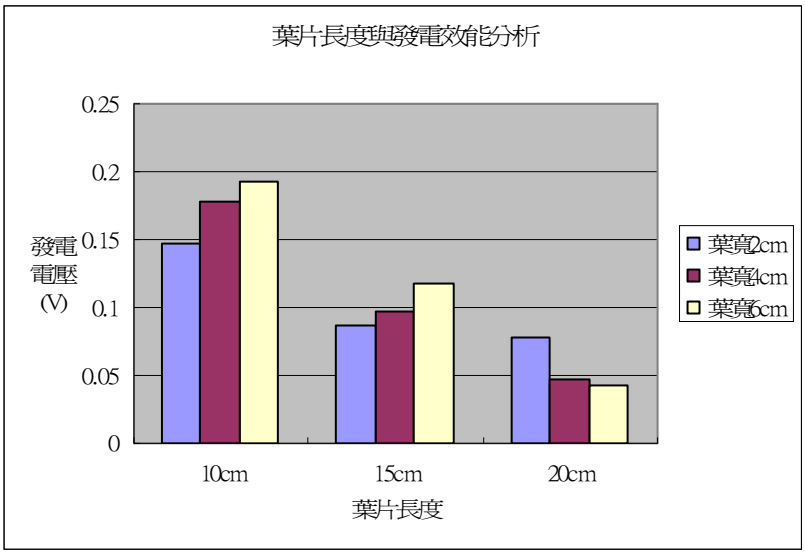
葉片長度/次數	1	2	3	4	平均
10cm	0.15	0.15	0.14	0.15	0.1475
15cm	0.08	0.09	0.09	0.09	0.0875
20cm	0.07	0.08	0.08	0.08	0.0775

雙葉片　　葉片寬度：4cm

葉片長度/次數	1	2	3	4	平均
10cm	0.18	0.18	0.17	0.18	0.1775
15cm	0.09	0.1	0.1	0.1	0.0975
20cm	0.05	0.05	0.05	0.04	0.0475

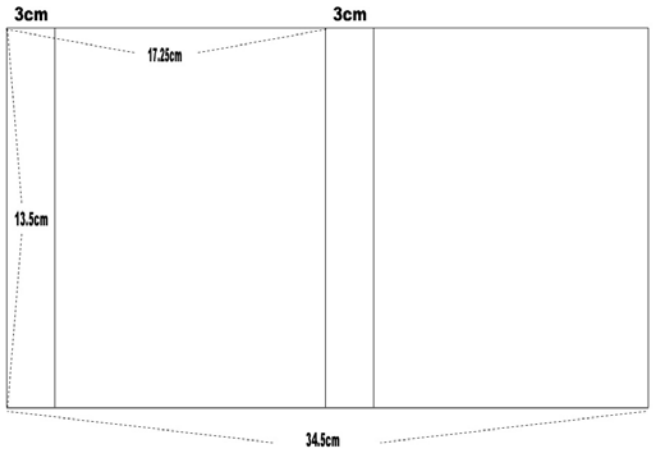
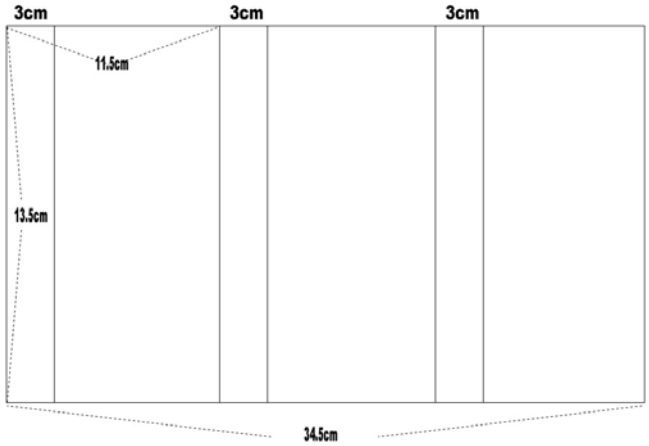
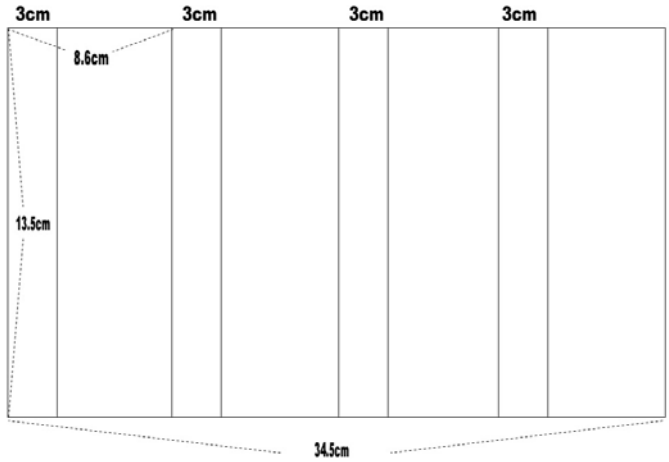
雙葉片　　葉片寬度：6cm

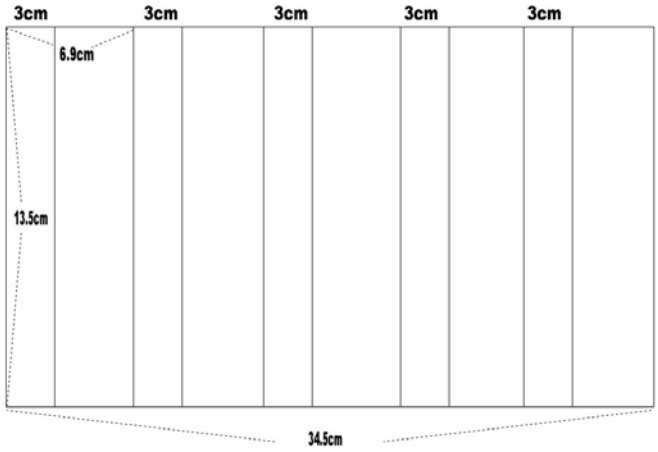
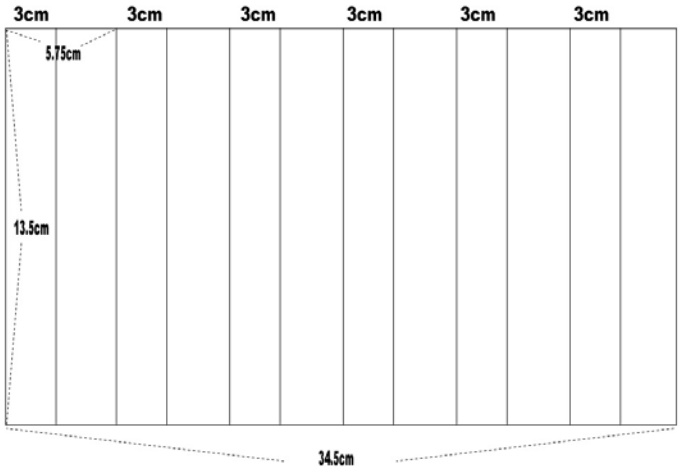
葉片長度/次數	1	2	3	4	平均
10cm	0.2	0.19	0.19	0.19	0.1925
15cm	0.12	0.12	0.11	0.12	0.1175
20cm	0.04	0.04	0.05	0.04	0.0425



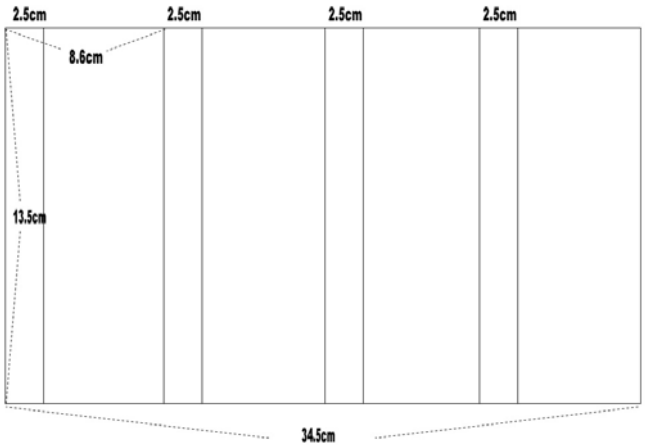
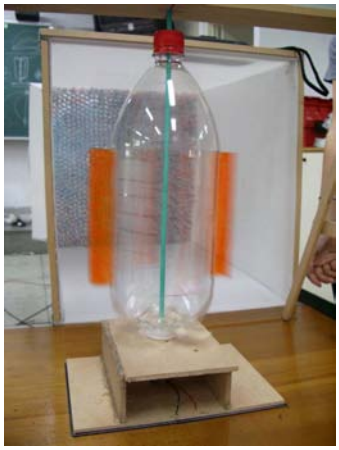
附件三：

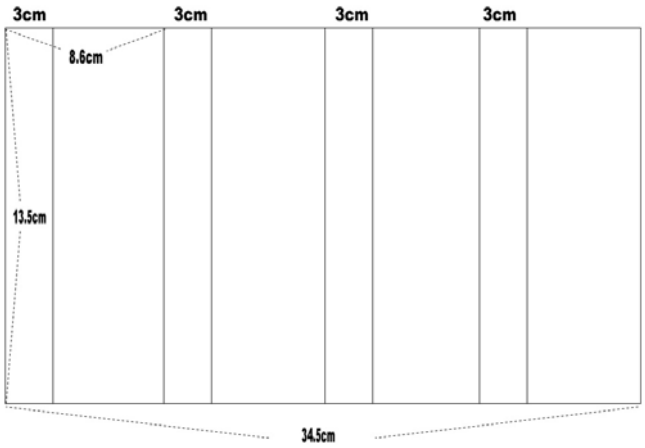
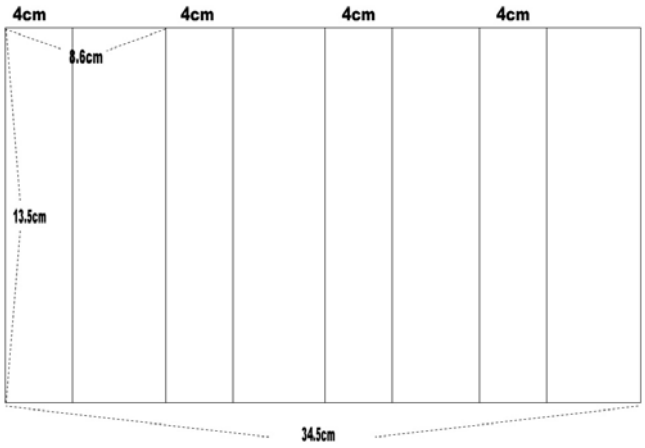
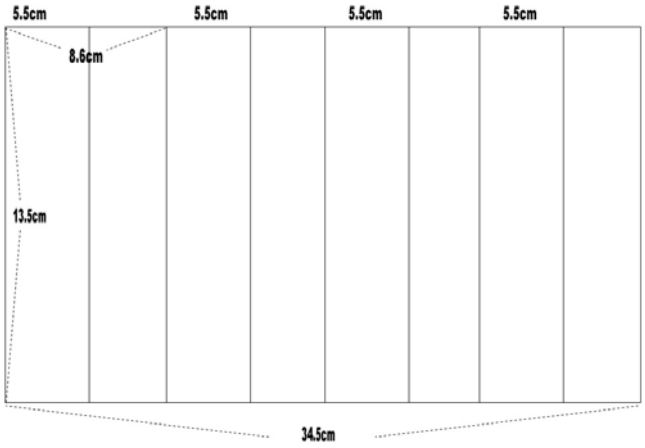
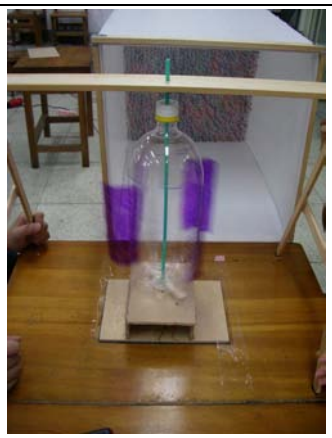
一、　實驗一（葉片數多寡是否會影響發電效能）葉片組設計規格

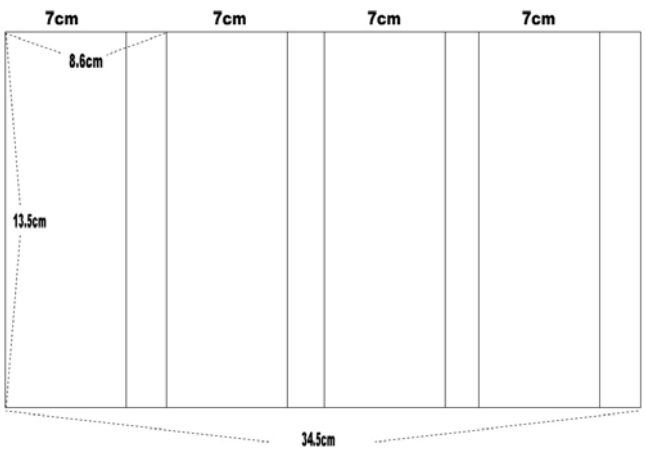
控制變因：葉長 13.5 cm、葉寬 3 cm、葉形長方形、葉片斜角 0 度		
葉片數	瓶身葉片展開圖	照片
二葉片		
三葉片		
四葉片		

五葉片		
六葉片		

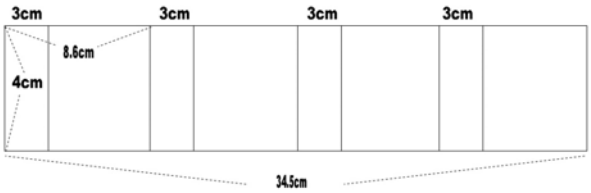
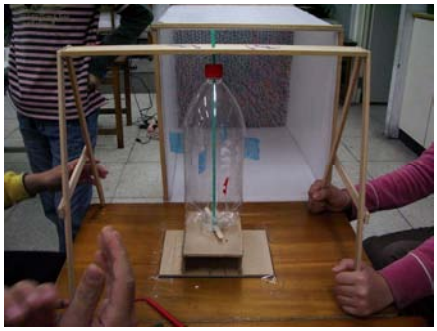
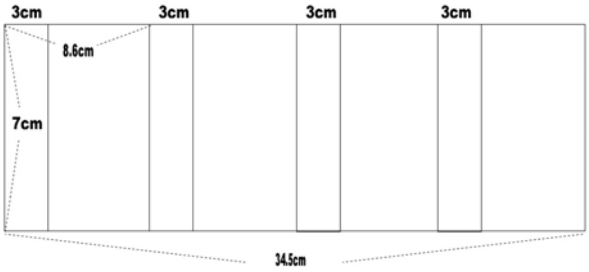
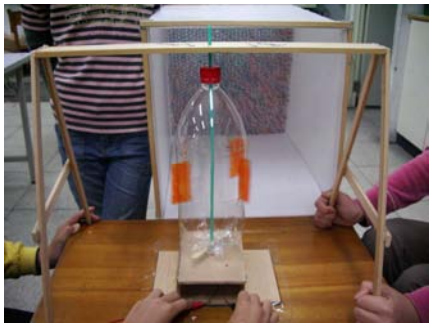
二、　實驗二（葉片寬度變化是否會影響發電效能）葉片組設計規格

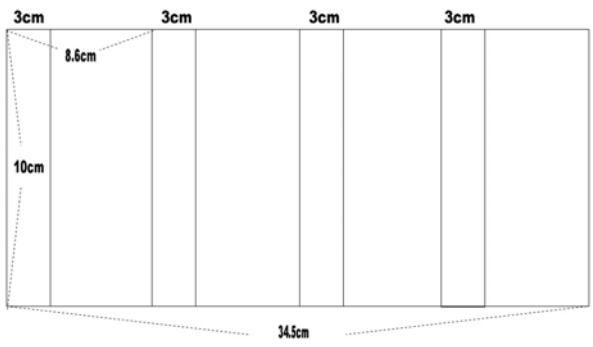
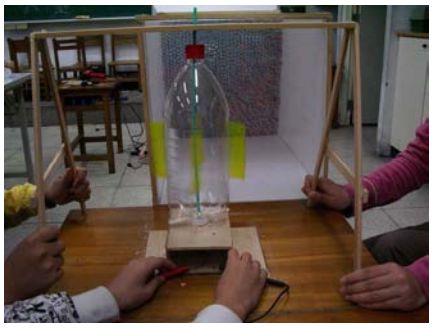
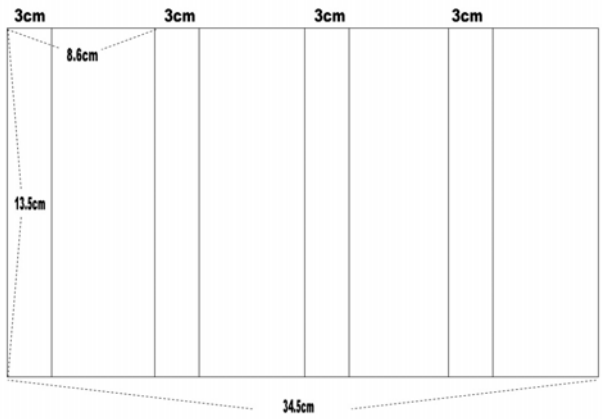
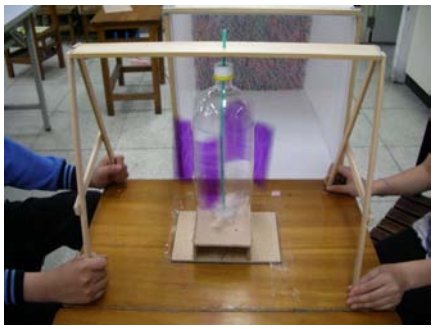
控制變因：葉長 13.5 cm、4 葉片、葉形長方形、葉片斜角 0 度		
葉寬	瓶身葉片展開圖	照片
2.5 cm		

3 cm	 3cm 3cm 3cm 3cm 8.6cm 13.5cm 34.5cm	
4 cm	 4cm 4cm 4cm 4cm 8.6cm 13.5cm 34.5cm	
5. 5 cm	 5.5cm 5.5cm 5.5cm 5.5cm 8.6cm 13.5cm 34.5cm	

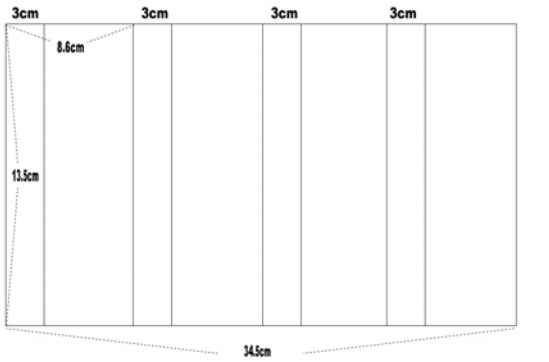
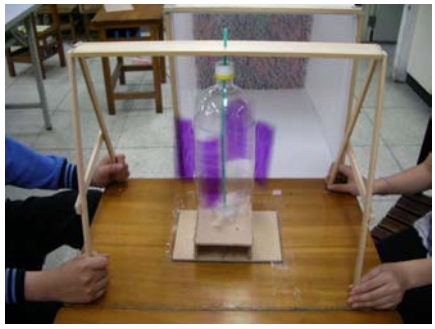
7 cm		

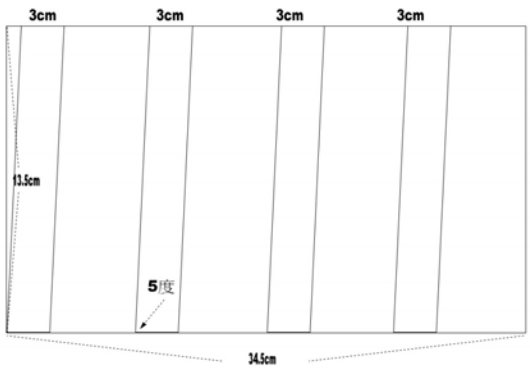
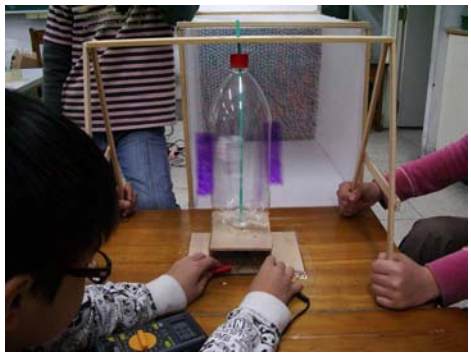
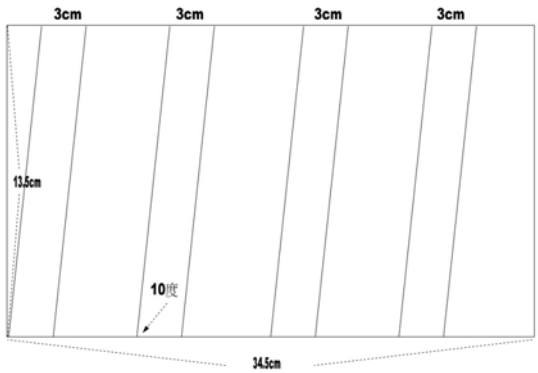
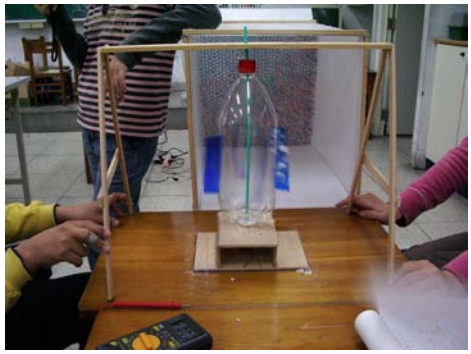
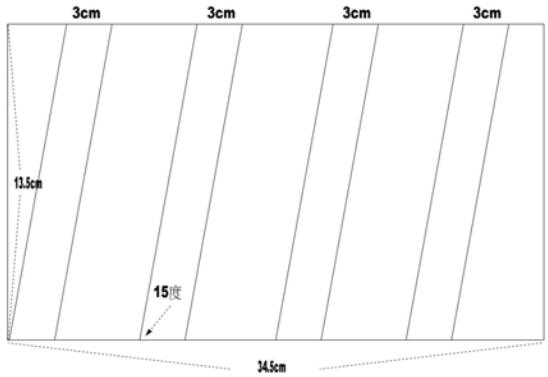
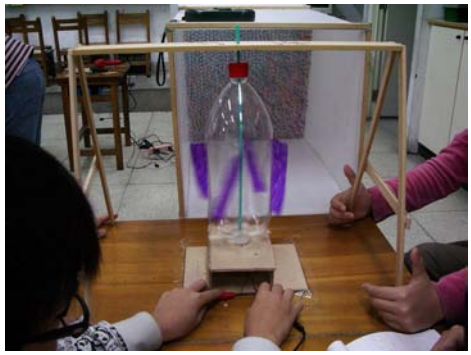
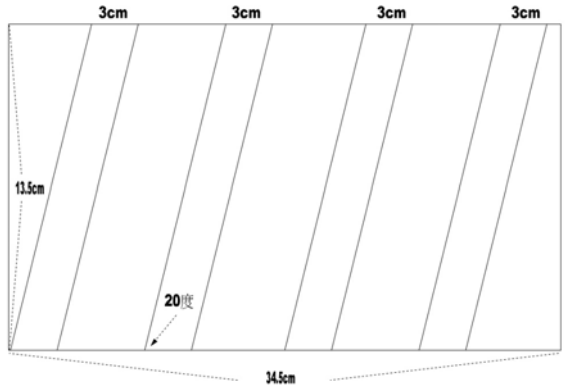
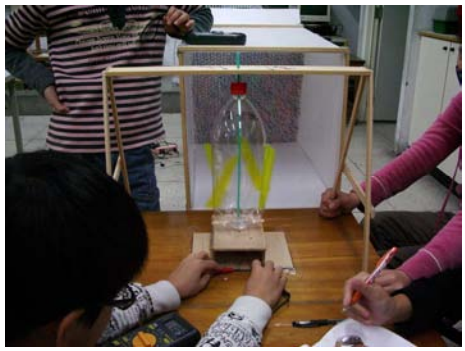
三、　實驗三（葉片長度變化是否會影響發電效能）葉片組設計規格

控制變因：葉寬 3 cm、4 葉片、葉形長方形、葉片斜角 0 度		
葉長	瓶身葉片展開圖	照片
4 cm		
7 cm		

10 cm		
13.5 cm		

四、　實驗四（葉片斜角變化是否會影響發電效能）葉片組設計規格

控制變因：葉長 13.5 cm、葉寬 3 cm、4 葉片、葉形長方形		
葉片斜角	瓶身葉片展開圖	照片
0 度		

5 度		
10 度		
15 度		
20 度		

【評語】080825

本作品以當前可再生能源的熱門議題作為探討的主題，作者蒐集許多文獻資料，設計實驗方法，亦針對各項變因進行探究，尋求最佳的組合，過程嚴謹，研究結果具應用參考價值。