

# MiniWind Lab Kit

## 迷你風能套件

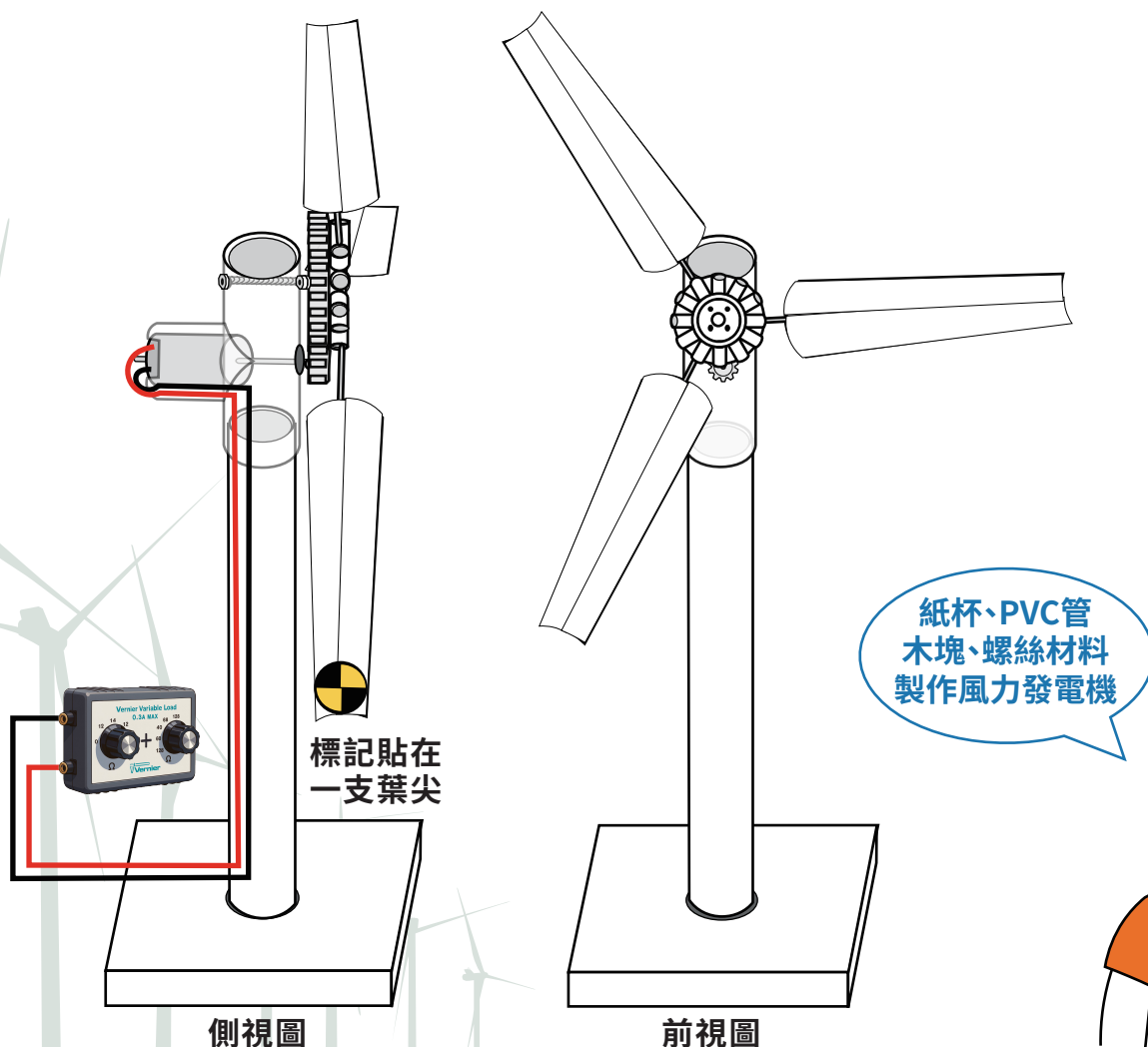
作者：吳明德  
亞太能源科學教育協會

### - 迷你風能套件簡介：

迷你風能課程涵蓋STEM，代表科學(Science)、科技(Technology)、工程(Engineering) 和數學(Mathematics) 四個領域。

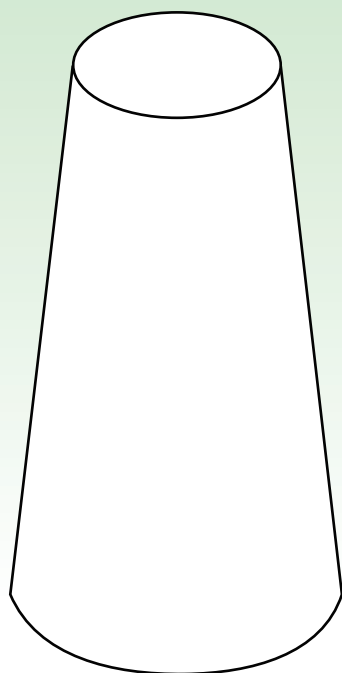
利用紙杯作為葉片，設計葉片需要利用數學幾何。螺絲作為轉軸、PVC塑膠管作為塔柱，木塊作為底座這部分屬於科技能力，再加上發電機、可變電阻利用物電學知識。而塑膠齒輪搭配最多12支葉片的槳轂，透過調整螺距角、電阻值則發揮工程最佳化設計。

最後利用小組合作，學習如何設計葉片與調整螺距角、電阻值，才能讓風力發電機產生最大的電功率。透過實作及風能競賽與發表，驗證完成風力發電機專題。

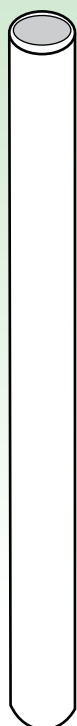


## - 材料與工具：

### 材料包



500cc紙杯×3



PVC塑膠管



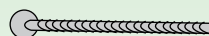
短竹籤×4



塑膠塞×4



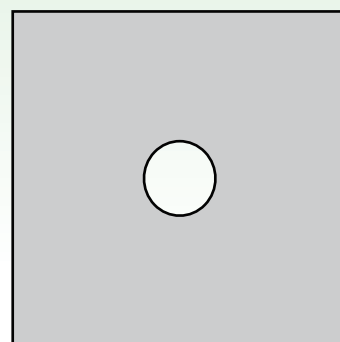
小螺絲×2



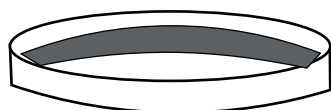
M3長螺絲



M3螺帽×3



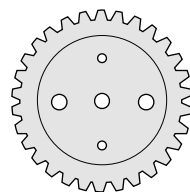
木底座



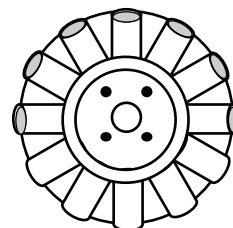
雙面膠帶或泡綿膠帶



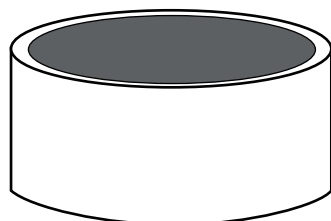
10齒塑膠齒輪



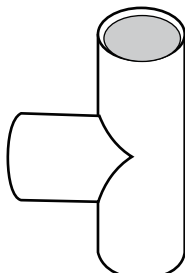
30齒塑膠齒輪



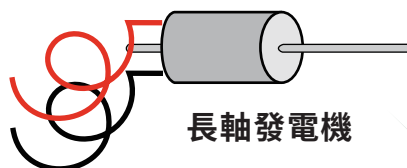
12孔位塑膠槳轂



寬透明膠帶或卡典西德膠膜



T型PVC塑膠管



長軸發電機

### 自備工具 (需另行購買)



可變電阻  
(訂購代碼:VES-VL)



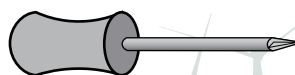
電能感應器  
(訂購代碼:GDX-NRG)



直尺



剪刀



螺絲起子



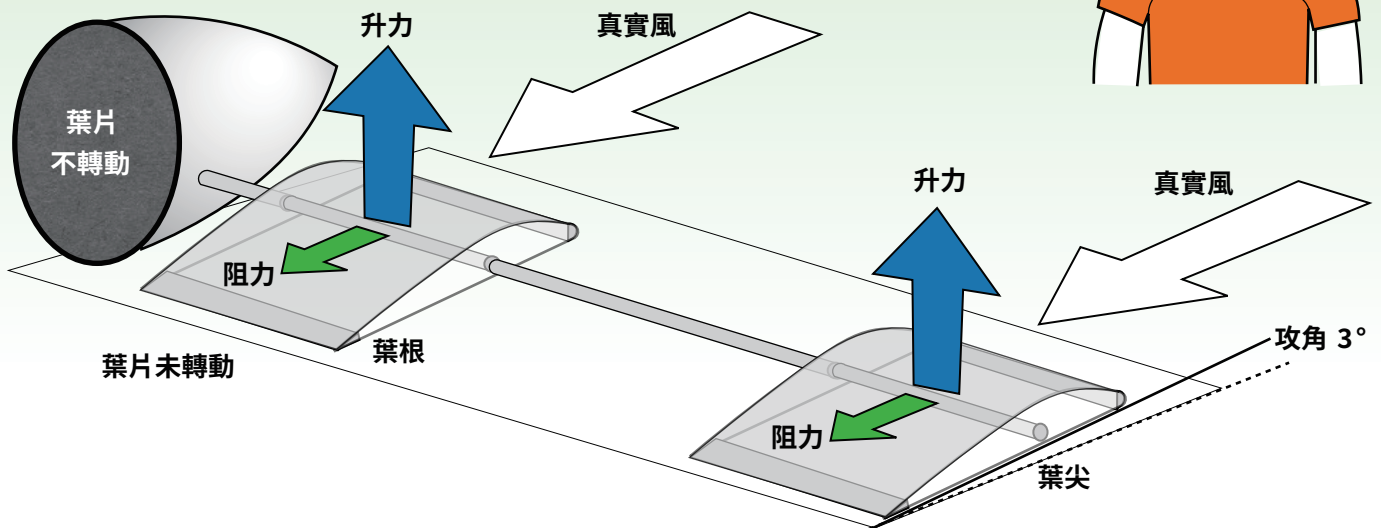
美工刀

## - 為何風力渦輪機的槳葉，葉根與葉尖角度不相同。

先假設葉片不轉動。葉片像飛機機翼一樣，因產生升力即將要開始轉動！

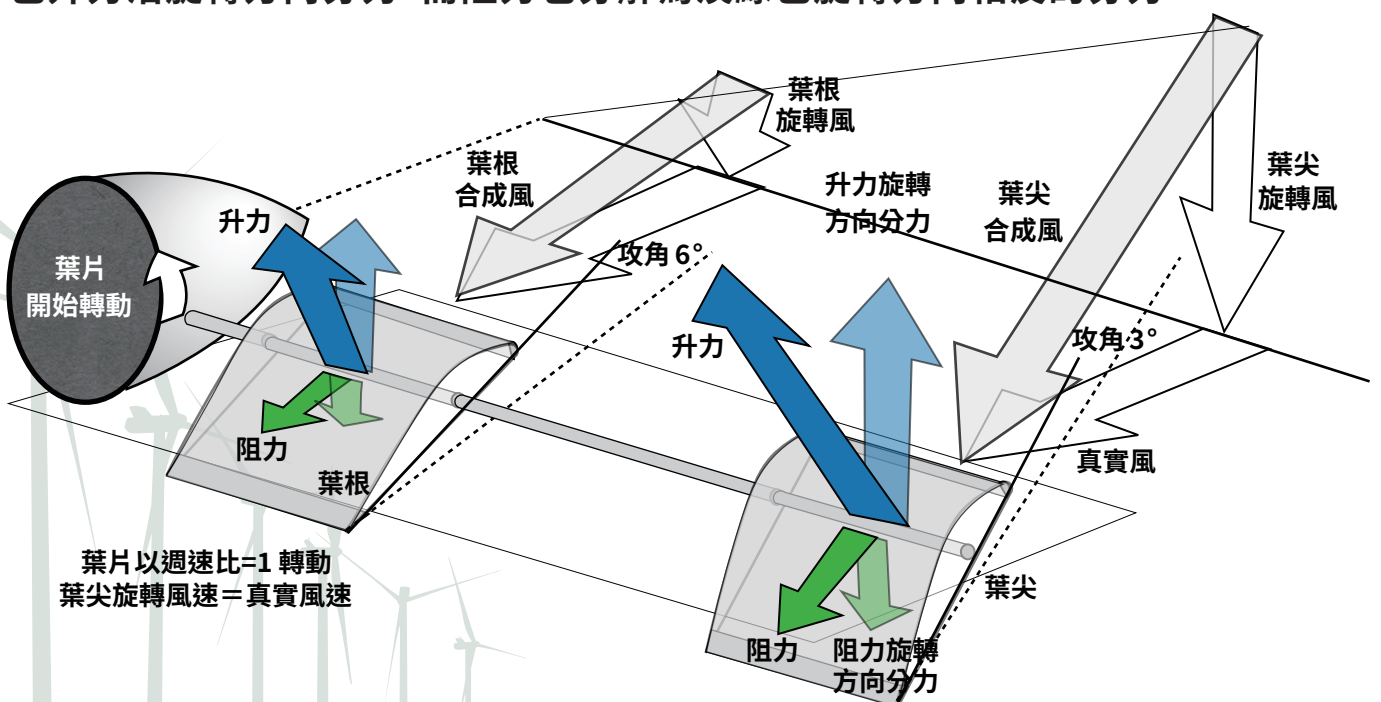
此時葉根與葉尖僅受「真實風」吹拂。內葉根、外側葉尖槳葉的角度相同。其中藍色升力的方向是垂直於風向，綠色阻力則是平行於風向。

風力渦輪葉片剖面為何扭曲？



葉片開始轉動。葉片同時受到兩種風，一種是真實的風，另一種是因旋轉產生的風。而外側葉尖處旋轉的風速較內側葉根處風速大。目前呈現葉片尖端處旋轉風速等於真實風速，稱此週速比 (Tip Speed Ratio) = 1。葉片最後會受到這兩種彼此垂直的風速合成為「合成風」。

此時藍色升力垂直於合成風，綠色阻力則平行於合成風。接著升力分解為淡藍色升力沿旋轉方向分力，而阻力也分解為淡綠色旋轉方向相反的分力。

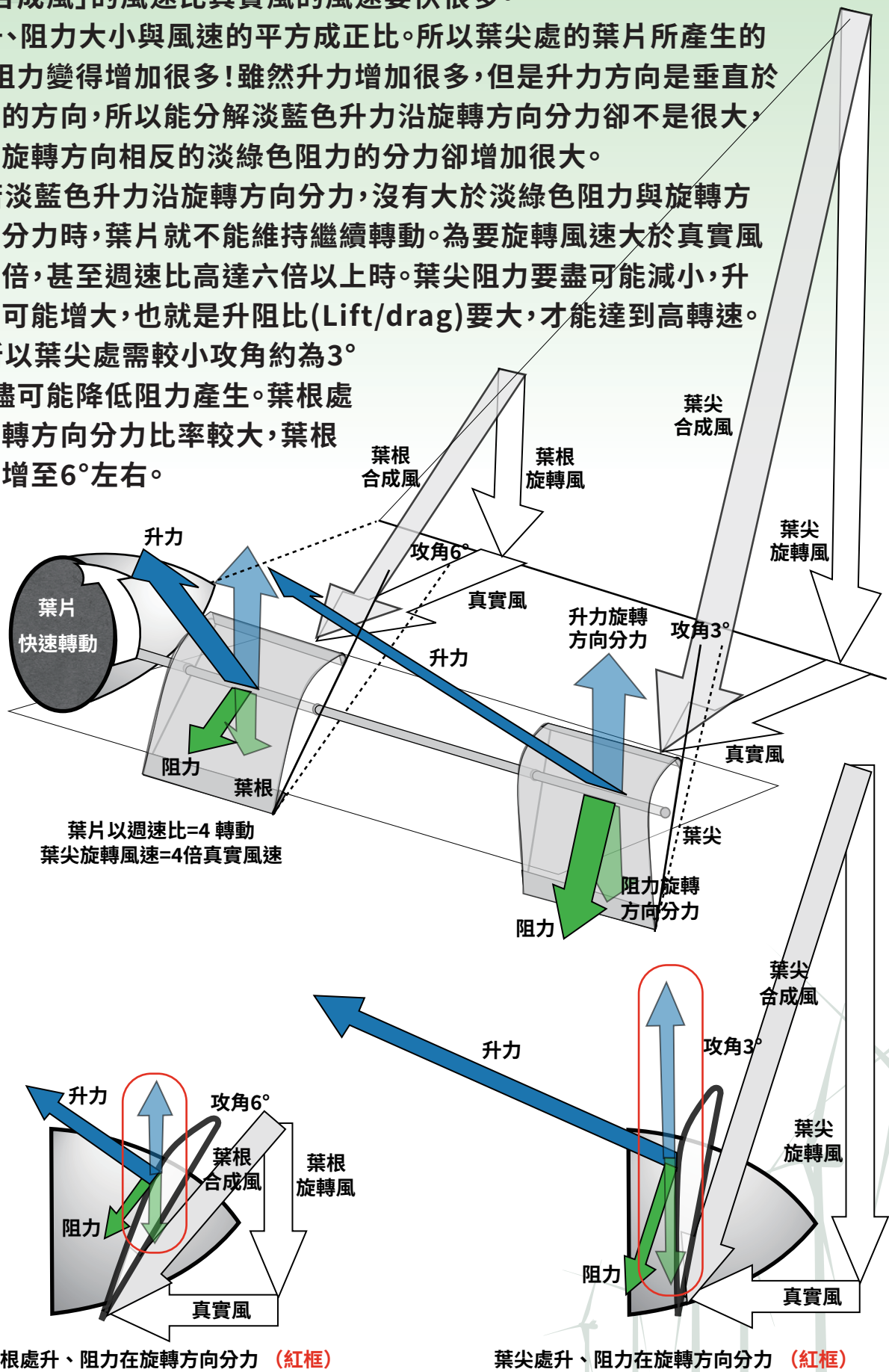


**葉片轉動變快。**若葉片尖端處旋轉風速為真實風速四倍，稱此時週速比(Tip Speed Ratio) = 4。葉片最後會受到這兩種彼此垂直的風速合成為「合成風」，此時「合成風」的風速比真實風的風速要快很多。

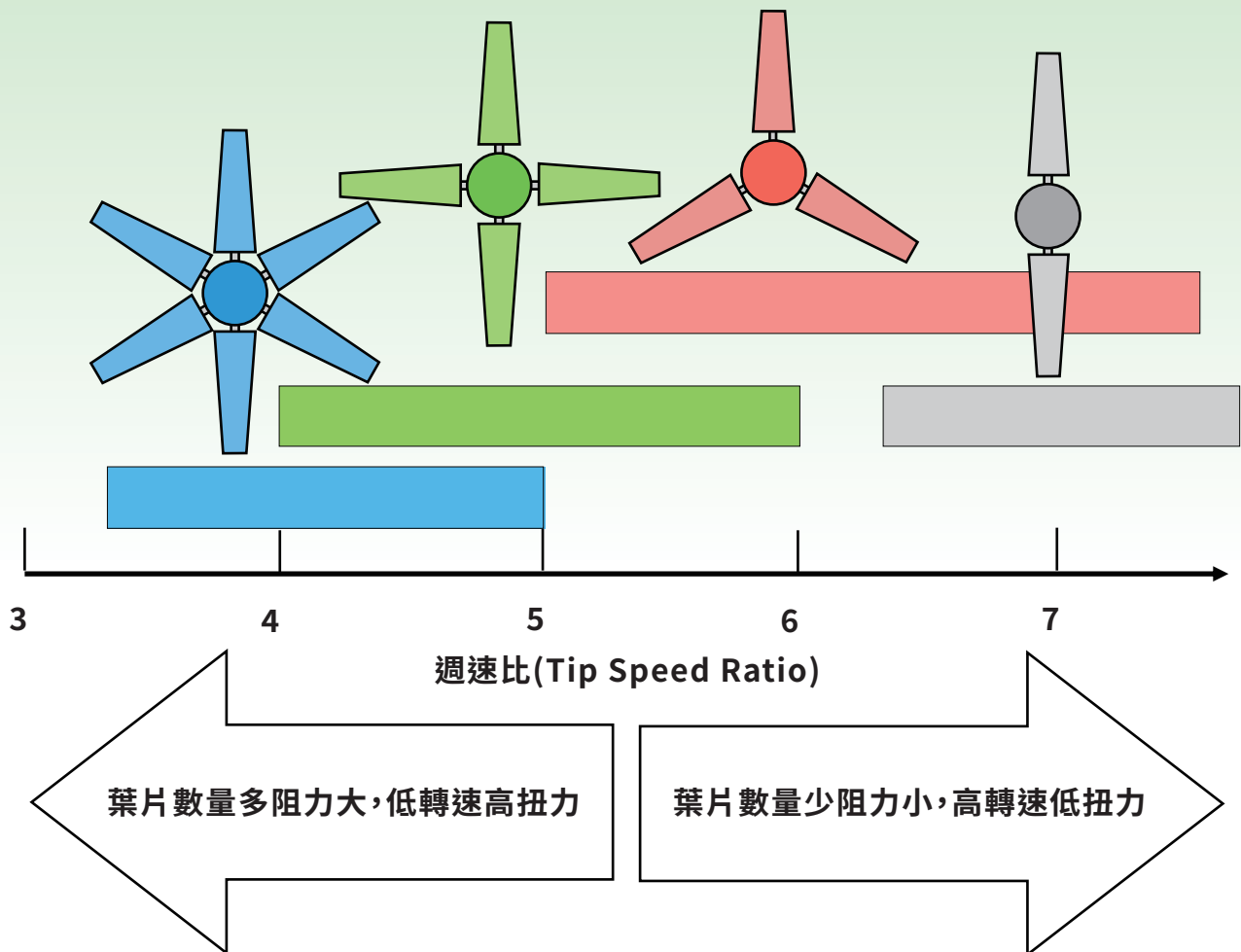
升、阻力大小與風速的平方成正比。所以葉尖處的葉片所產生的升力、阻力變得增加很多！雖然升力增加很多，但是升力方向是垂直於合成風的方向，所以能分解淡藍色升力沿旋轉方向分力卻不是很大，反而是旋轉方向相反的淡綠色阻力的分力卻增加很大。

若淡藍色升力沿旋轉方向分力，沒有大於淡綠色阻力與旋轉方向相反分力時，葉片就不能維持繼續轉動。為要旋轉風速大於真實風速好幾倍，甚至週速比高達六倍以上時。葉尖阻力要盡可能減小，升力要盡可能增大，也就是升阻比(Lift/drag)要大，才能達到高轉速。

所以葉尖處需較小攻角約為 $3^\circ$ ，就是儘可能降低阻力產生。葉根處升力旋轉方向分力比率較大，葉根攻角可增至 $6^\circ$ 左右。



- 步驟一：決定葉片數量。  
考慮採用低轉速高扭力或是高轉速低扭力的旋翼設計？

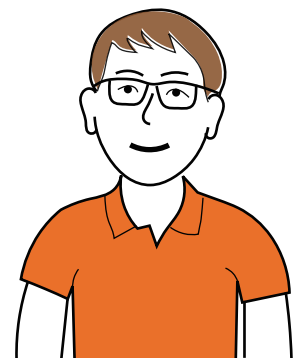


葉尖旋轉  
風速25m/s

槳葉旋轉方向

真實風速5m/s

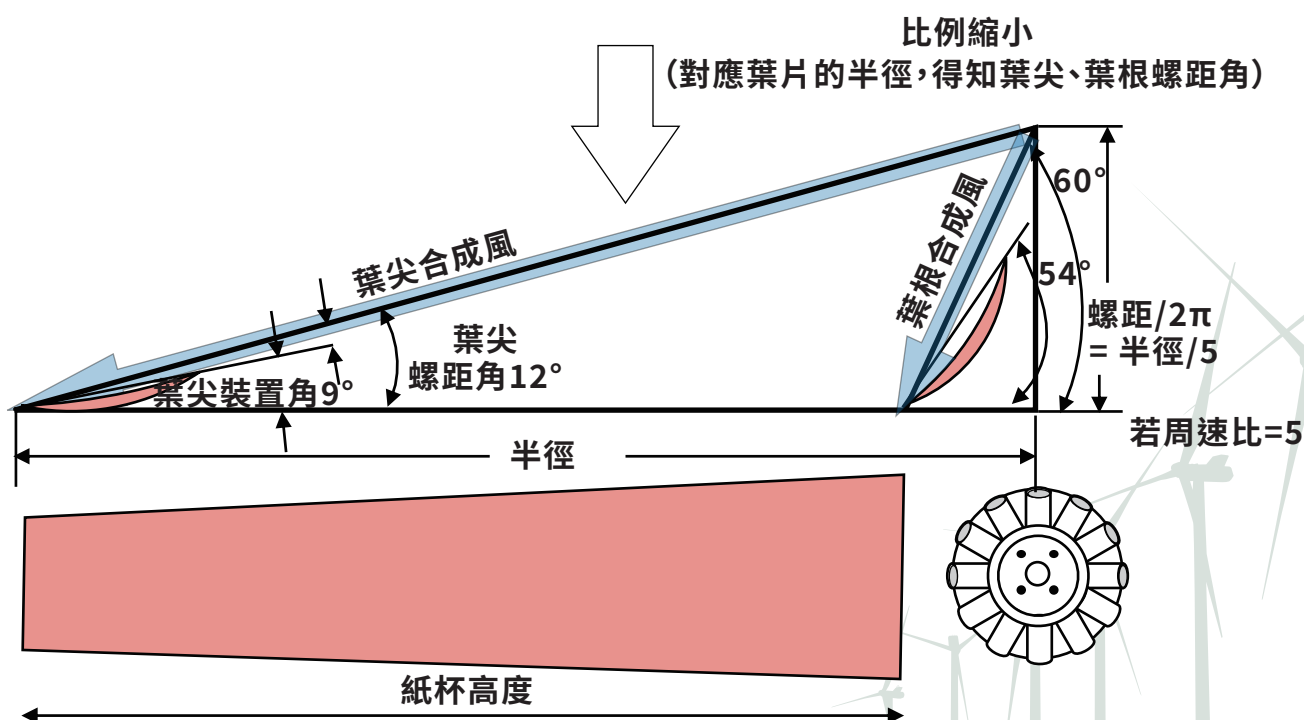
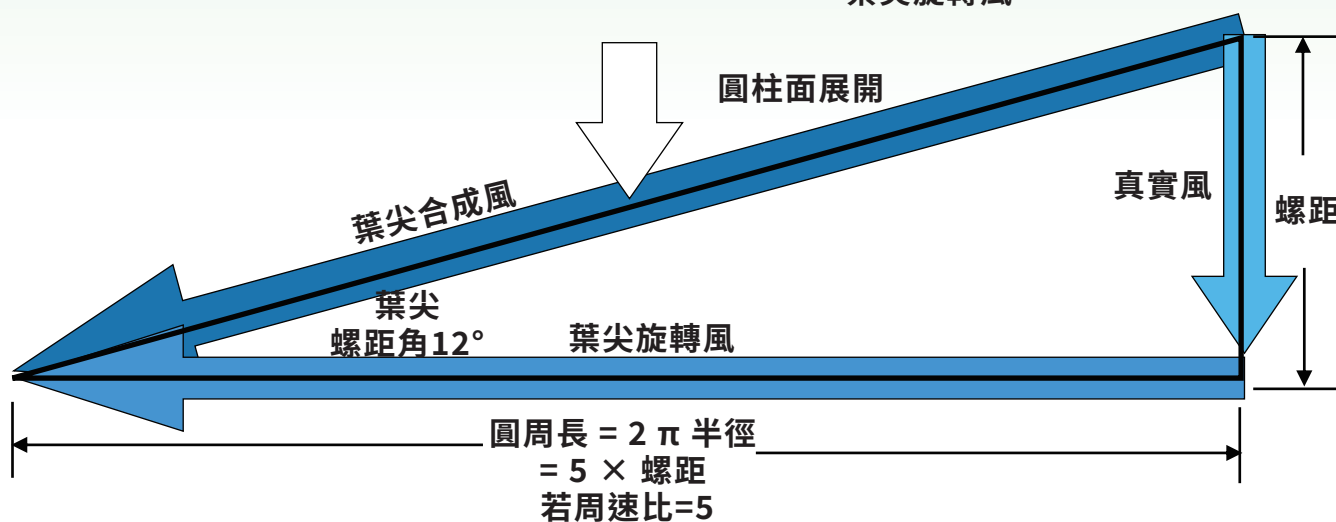
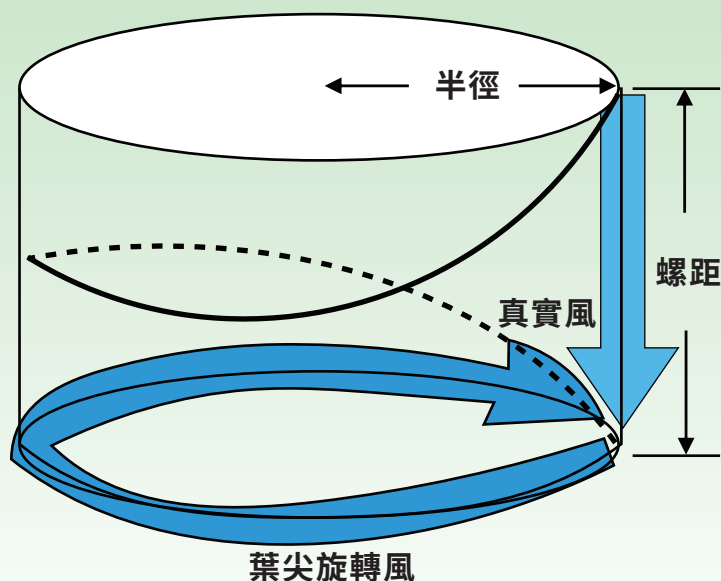
$$\begin{aligned} \text{週速比(Tip Speed Ratio)} &= (\text{葉尖風速}25\text{m/s})/(\text{真實風速}5\text{m/s}) \\ &= 5 \end{aligned}$$



## - 步驟二：決定螺距角

例如已經設定週速比為 5，  
 由繪圖得到葉尖螺距角約為 $12^\circ$ ，  
 葉尖裝置角為 $9^\circ$ (相差 $3^\circ$ 為攻角)  
 葉根螺距角為 $60^\circ$   
 葉根裝置角為 $54^\circ$ (相差 $6^\circ$ 為攻角)  
 葉尖與葉根相差 $45^\circ$

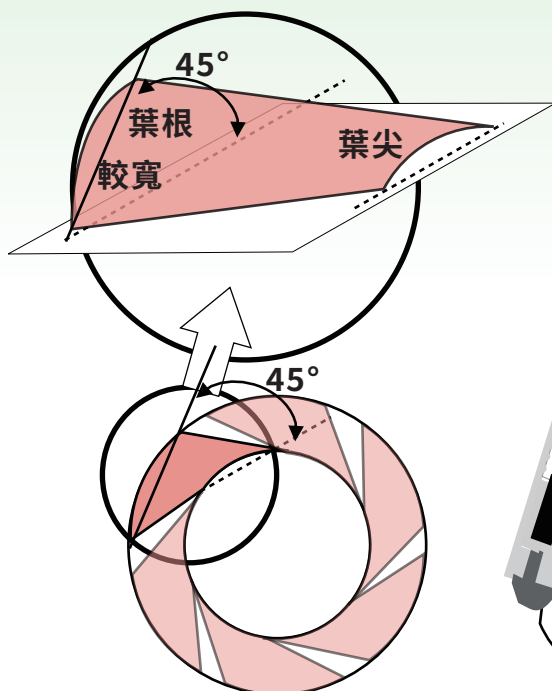
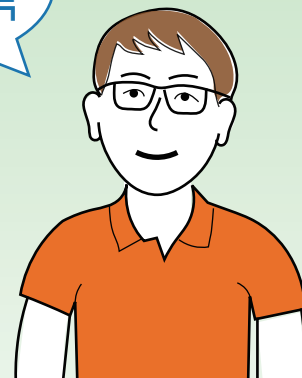
備註：攻角在 $3^\circ \sim 6^\circ$ 間  
 升力/阻力 比值最佳



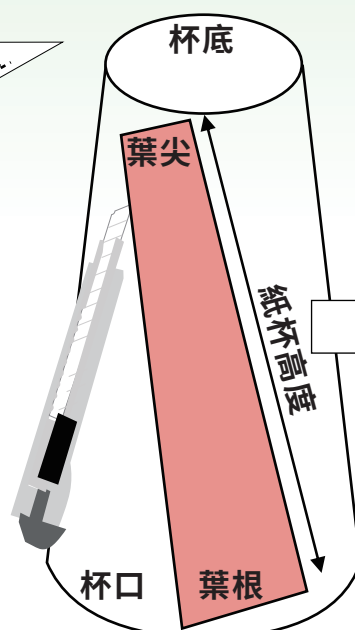
## - 步驟三：裁出紙杯葉片

- 由步驟二葉尖裝置角 $9^\circ$ 與葉根裝置角 $54^\circ$ ，兩者相差約為 $45^\circ$ 。
- 利用紙杯的杯底處為葉尖，而杯口處為葉根，葉根處較寬。
- 美工刀割開紙杯製作葉片模具。
- 用紙杯模具套在另一個紙杯繪出葉片。
- 製作三葉片渦輪機，每枚需上、下兩層。就需要繪出六片葉片輪廓。

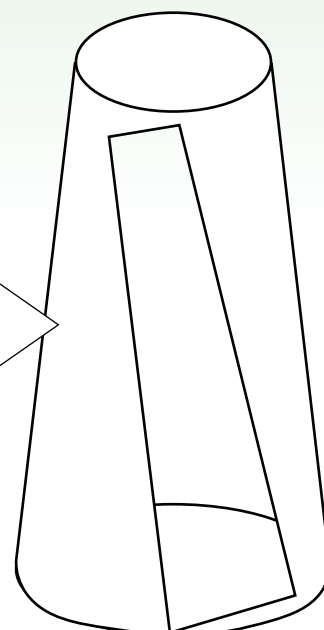
傾斜裁出紙杯  
製作扭曲葉片



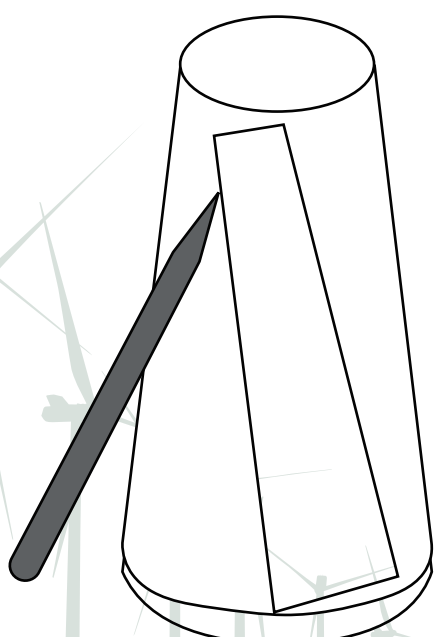
由杯底俯視杯緣，紅色代表葉片



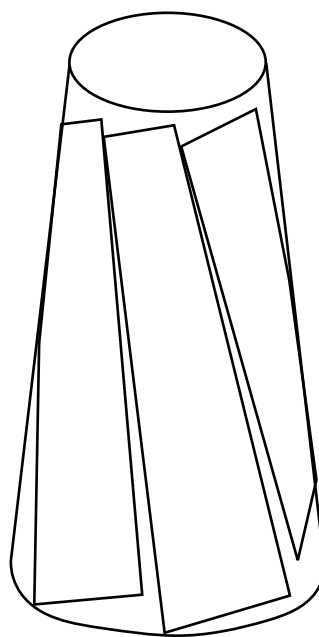
用美工刀割開製作葉片模具



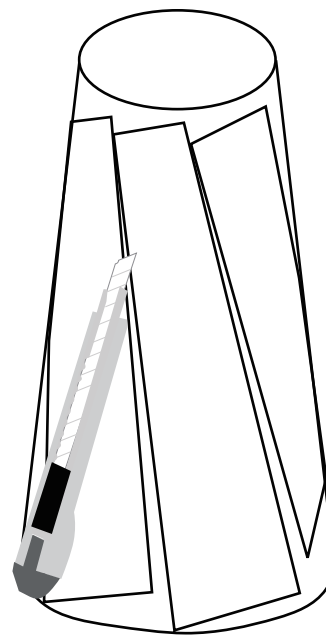
完成葉片模具



葉片模具套在紙杯上用筆繪出6枚葉片輪廓



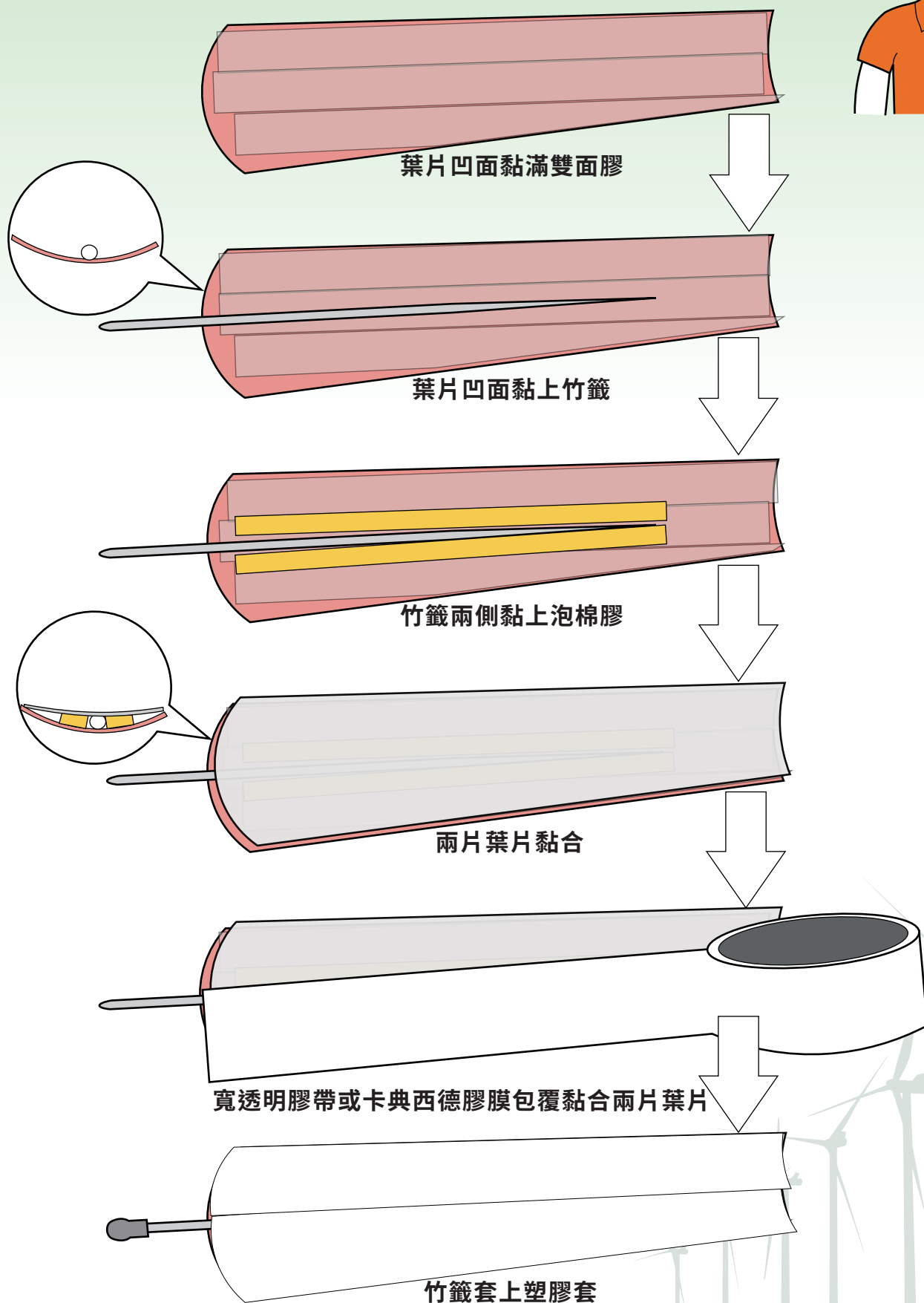
取出葉片模具



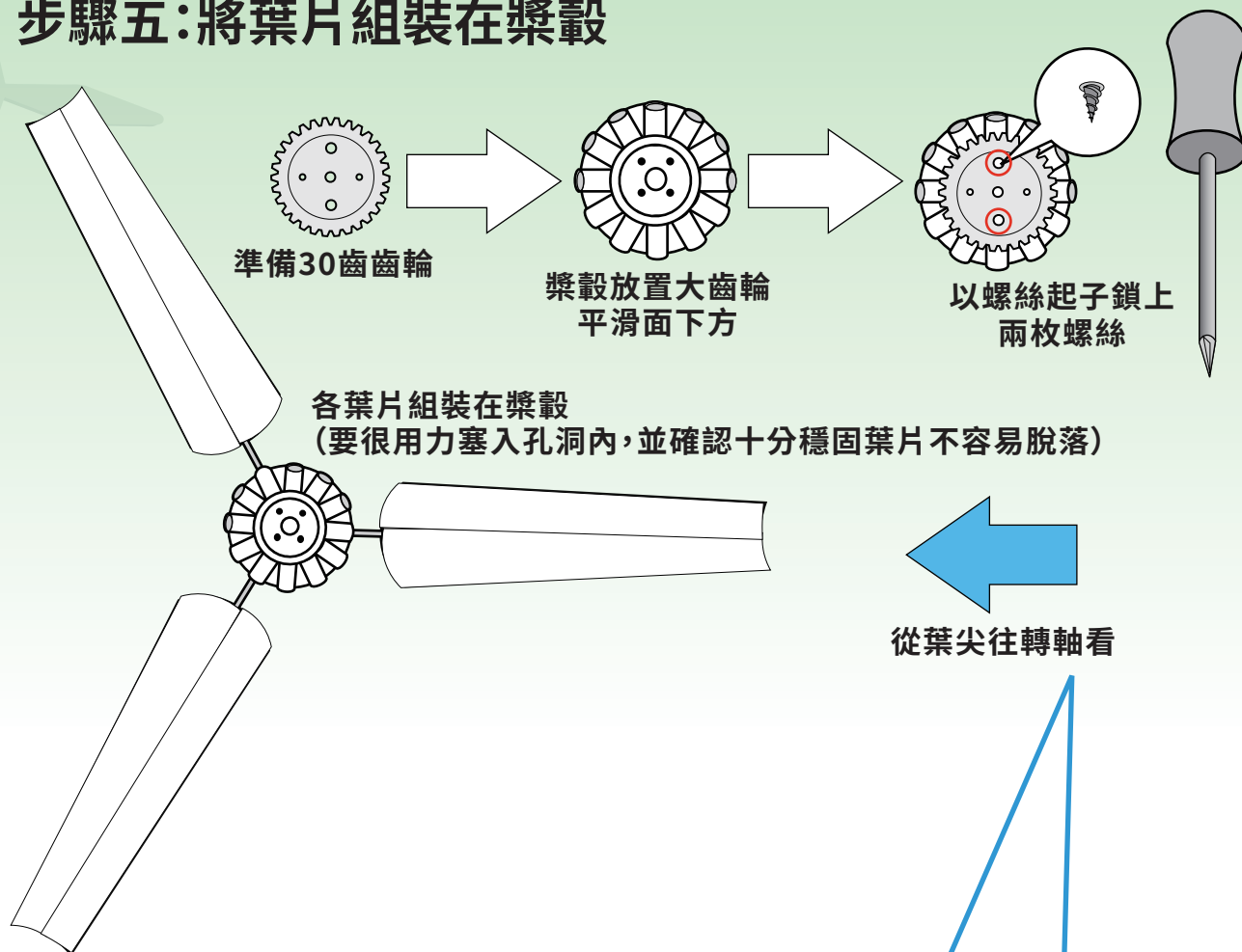
逐一裁切多個葉片

## - 步驟四：組裝葉片

兩紙杯葉片中央  
夾著細竹籤，再用  
雙面、泡綿膠黏著

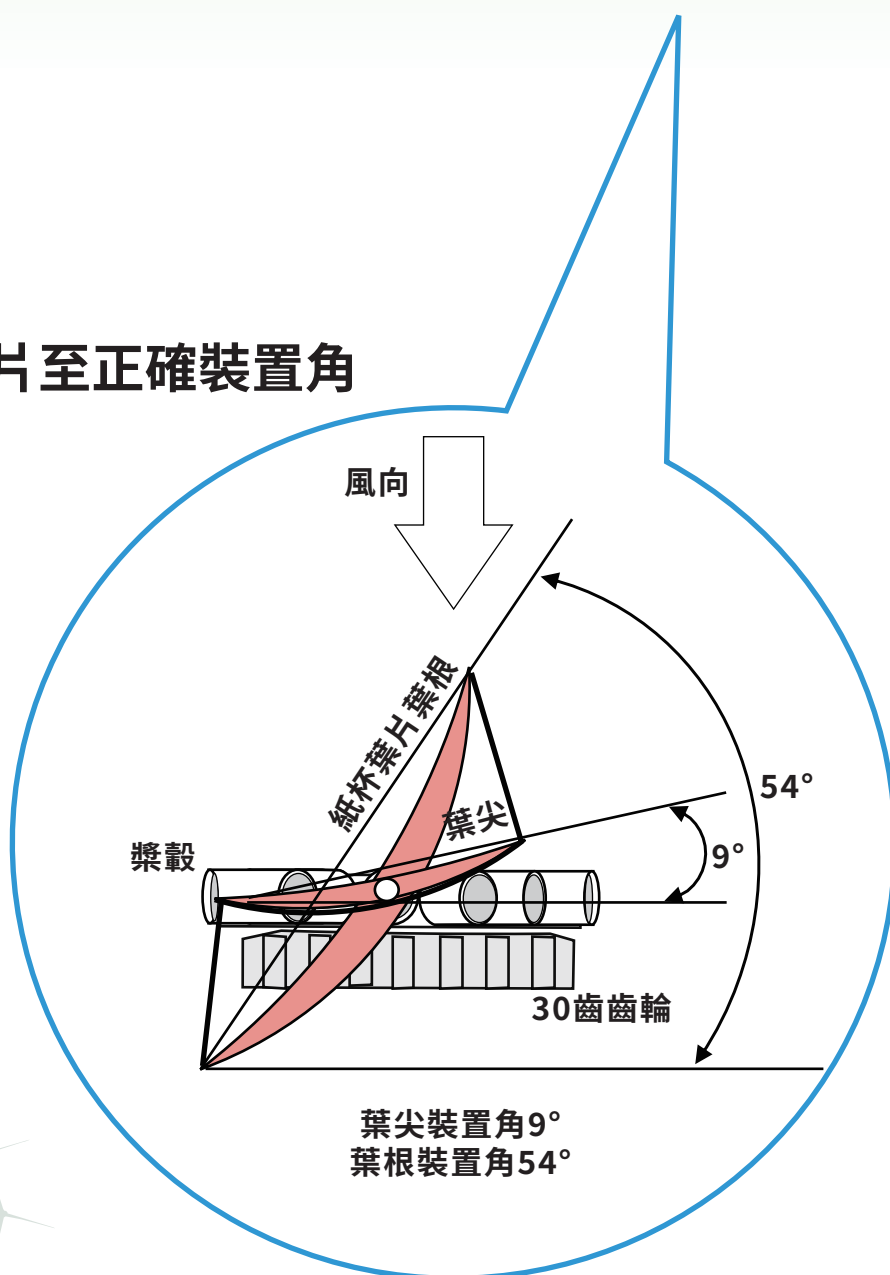


## - 步驟五：將葉片組裝在槳殼



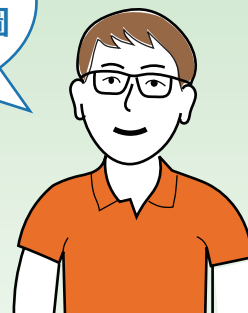
## - 步驟六：調整各葉片至正確裝置角

- 葉尖裝置角小
- 葉根裝置角大
- 葉片凹面迎風



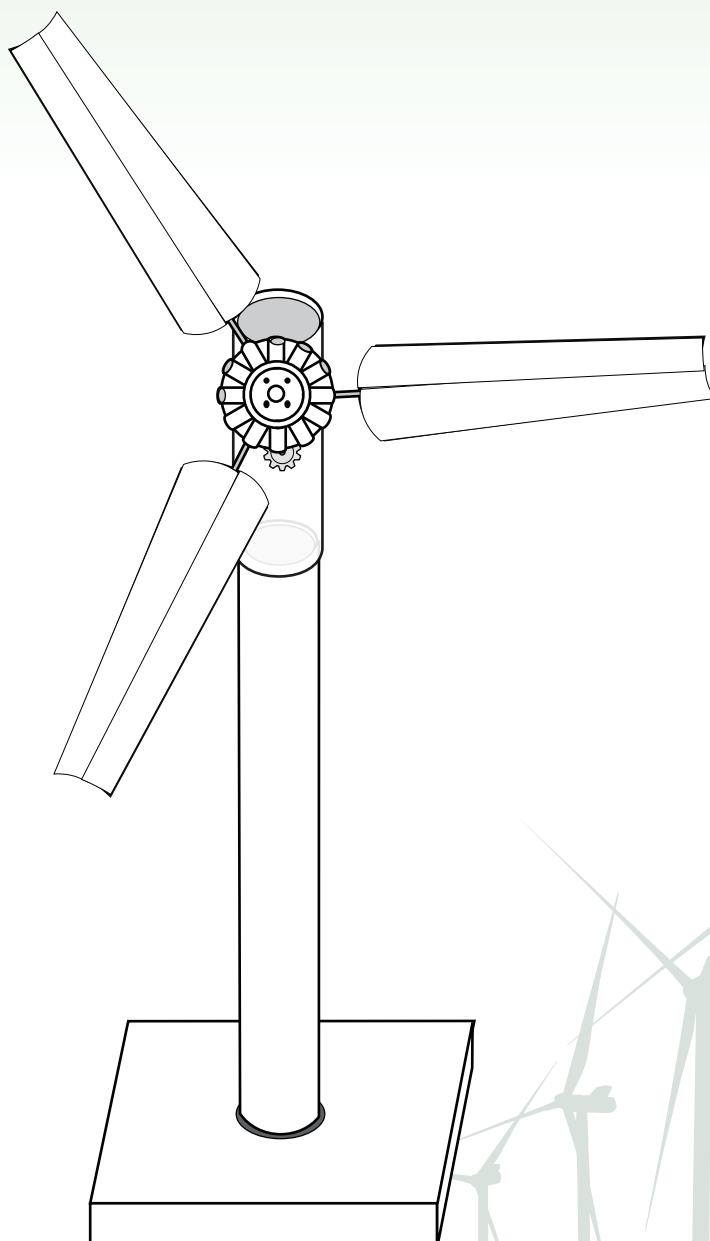
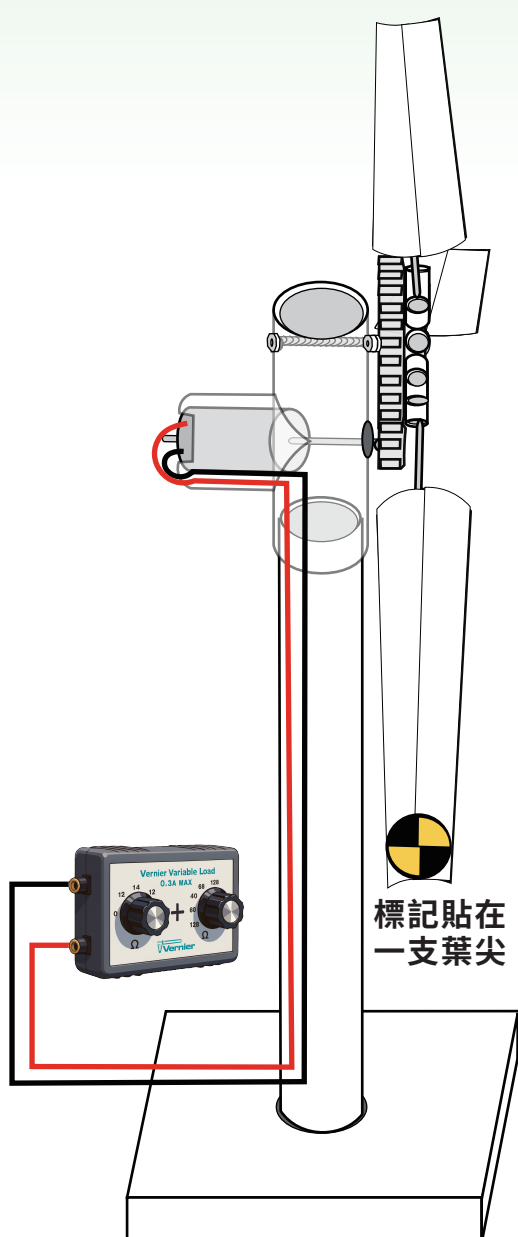
## - 步驟七：組裝發電機、塔柱、底座、轉子與齒輪

迷你風力套件  
側視圖、前視圖

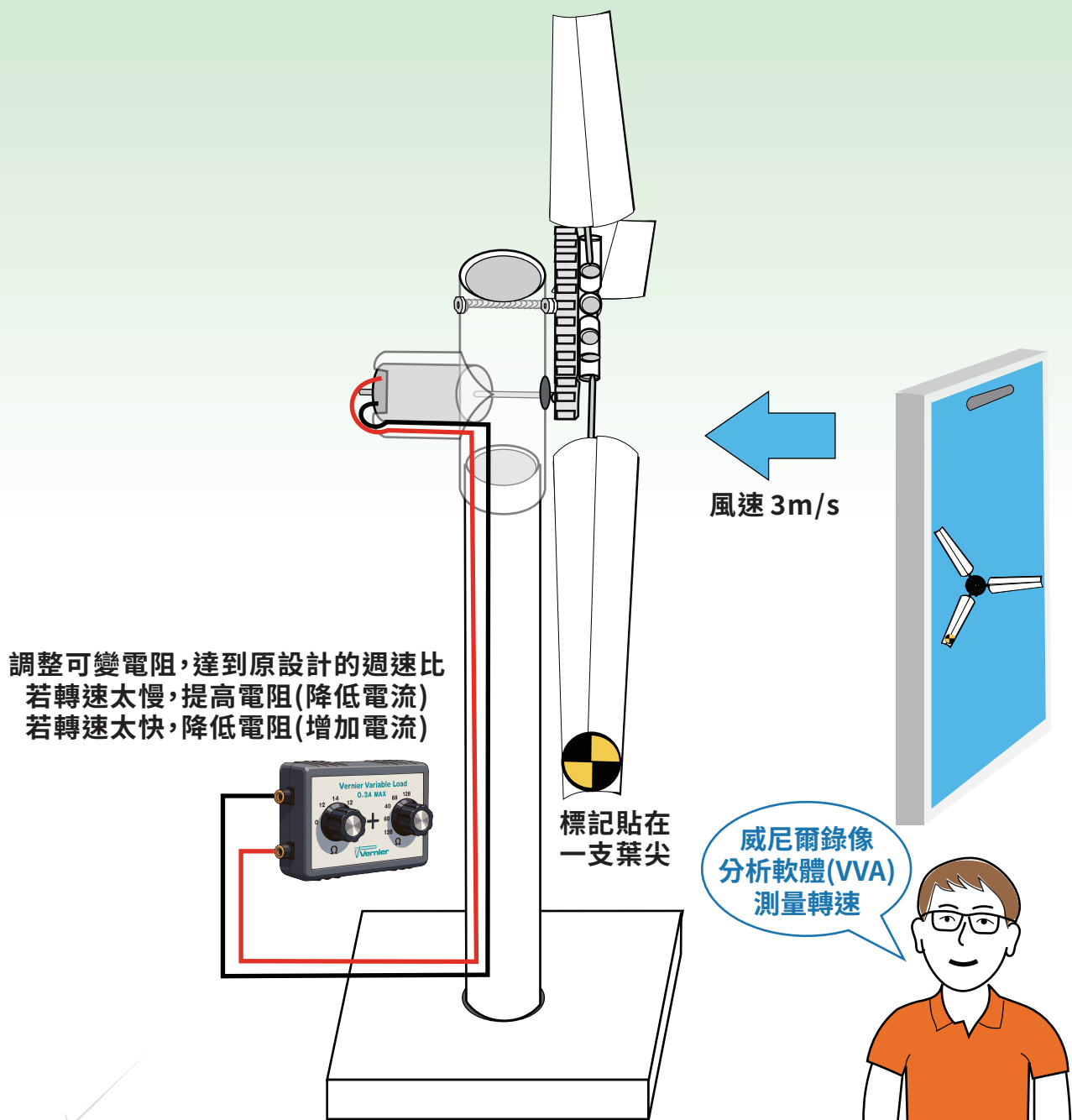


側視圖：調整可變電阻，  
達到原設計的週速比  
若轉速太慢，提高電阻(降低電流)  
若轉速太快，降低電阻(增加電流)

前視圖：



## - 步驟八：測量發電機旋翼是否符合原始週速比設定？



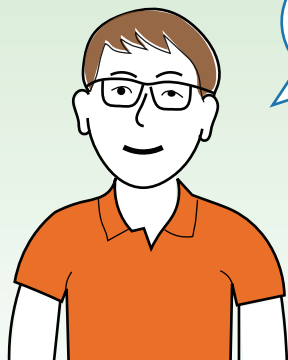
利用慢動作錄影測量標記轉一週所需時間。

風速 3m/s，週速比為 5，槳葉尖端旋轉速率為 15m/s，

$$\text{若葉片半徑為 } 15\text{cm}, v = \frac{2\pi R}{T}$$
$$15\text{m/s} = \frac{2\pi(0.15\text{m})}{T}$$

圓周率  $\pi = 3.14$ ，得到旋轉一週的週期時間  $T = 0.0628$  秒，即頻率約為 16 轉/秒。

## - 步驟九：測量紙杯風力發電機電功率，調整螺距角與電阻



調整螺距角  
測量轉速

降低螺距角  
轉速增加，  
扭力降低  
(電阻可增加)

增加螺距角  
轉速降低，  
扭力提高  
(電阻可增加)

調整可變電阻

威尼爾電能感應器  
測量電功率