

2021 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

- 作品編號** 100038
- 參展科別** 工程學
- 作品名稱** 探討以不同方向風力為動力的自製纜車用來運輸之可行性
- 得獎獎項** 大會獎 一等獎
土耳其Buca IMSEF正選代表
- 就讀學校** 臺北市立明湖國民中學
- 指導教師** 許振松、戴玲
- 作者姓名** 洪皓翔、洪家澤
- 關鍵詞** 風力、纜車、3D 列印

作者簡介



My friends said that we are optimistic, conscientious, and enthusiastic. We feel very confident when approaching people we don't know and sharing new ideas to them. There are several reasons why we hope to attend Taiwan International Science Fair. First, we have a thirst for science and mathematics! By reading reports about recent developments in science and technology, it strengthen

curious students, we' ll never give up finding answers. Finally, we are looking forward to fine-tune our skills and learn things from people who come from different countries. Therefore, we can not only expand our international horizons but also make new friends. For these reasons, we certainly believe that we have a combination of the qualities necessary to succeed in Taiwan International Science Fair.

摘要

作品延續 2020 全國科展特優作品「風再起時」，本組將橫流風扇改成鋁製扇葉…等多項改善；以 3D 列印設計機構本體，並組合塑膠齒輪做成纜車，自製類低速風洞，提高風速避免亂流，完成實驗；作品經 5 次改善，具備以下功能：

1. 可以順、逆風行走各方向吹來的風均可以利用。
2. 纜車可以控制正反向行走。
3. 可調整快慢速度, 以節省時間。
4. 設定慢速行走時扭力增加，可負載重量。
5. 在無風情況下，可使用電動馬達驅動纜車行走。
6. 在無風無電力下，可旋轉搖柄帶動纜車。
7. 在故障及緊急情況時，可打空檔滑向下坡方向停靠站。

作品測試：分別以自製類風洞測試，與不同坡度實驗，施予不同方向強、弱風等實驗，結果顯示：纜車扇葉轉速與行走速度均有一致規律。荷重實驗：本體重 652.8 g，可以荷重 1.6 kg，速度達 0.12 cm/s。

Abstract

This work continues the work “Against the wind” we made last year which won the first place of the National Primary and High School Science Fair 2020. We rebuild the cross-flow fan using aluminum fan blades... and many other improvements, and made our cable car by combining 3D printed mechanical body and plastic gears. Also, we build a self-made low speed Wind tunnel to increase the wind speed and avoid turbulence, and complete the experiment. The work has been improved 5 times and has the following functions:

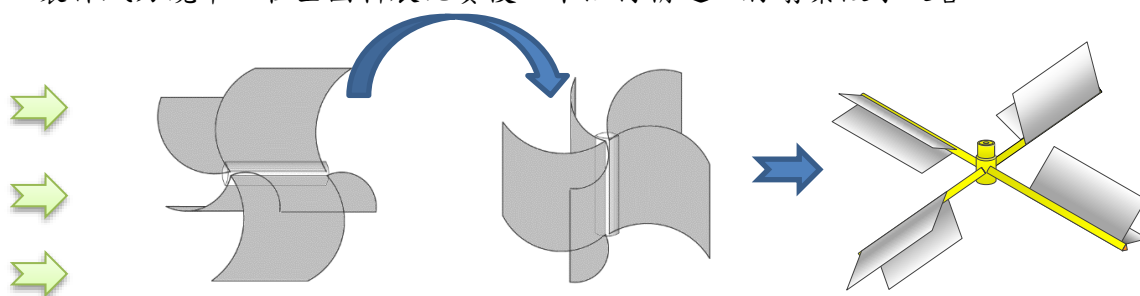
1. The cable car can go along or against the wind, the wind from all directions can be used.
2. The cable car can go forward or backward on the notched belt.
3. The speed can be adjusted to save time.
4. The cable car can switch to low gears to increase the torque then the load can be increased.
5. In the absence of wind, the electric motor can be used to drive the cable car.
6. In the absence of wind and electricity, the swing handle can be rotated to drive the cable car.
7. In case of failure or emergency, you can switch to and slide downhill to stop.

Test of works: Tests in self-made wind tunnels, experiments with different slopes, and experiments with strong and weak winds in different directions. The results show that the rotate speed of fan blades and the walking speed the cable car are consistent. Load test: The body weight is 652.8 g, can load 1.6 kg, and the speed up to 0.12 cm/s.

壹、前言

一、研究動機

本組作品在 2019 年參加科展：「逆風而上」—探討改良翻滾仔逆境下的運動。評審老師給了本組很大鼓勵，希望本組可以繼續朝應用方面研究；思考後本組認為主題可以延伸二個方向：製作出可將風力或水力運用於載送物品的機構，討論後本組決定以風力來完成此實驗。因為對水力而言，僅能二個方向，即順流或逆流，而且台灣山區河流短促，多急流瀑布落差大，而風力則無限制可以運用。所以本組延伸了原本「橫流風扇」的研究，將橫流風扇垂直立起來，製作風力纜車，在全國科展比賽後，本組再精進，將扇葉做了改善。



現況：台灣是一個多山的島嶼，在不到 3,600km²的面積上，有超過 268 座 3,000 公尺以上的高山，是全世界高山密度最高的島嶼之一，台灣農民在山區種植高品質的水果與蔬菜，但因農產運送的問題，常造成農民的損失，山谷間或河床上雖有「流籠」可以運送，有用柴油引擎動力或是以人力拉牽，造成空氣汙染與人工成本仍大。本實驗的優勢：因山谷裡的谷風，受日照影響氣流，白天吹谷風，晚上吹山風，且高山上風力強，風力取之不盡、用之不竭。劣勢：我們觀察山間吊橋周圍的氣流紊亂，但亂中有序，對策：風力纜車須能夠利用各方來風。如何利用風力來做能源？這是我們製作以風力纜車作為山區搬運器具研究的動機。



果農使用的流籠(攝於海拔 1600 公尺環山部落)



流籠使用柴油機動力(攝於環山部落)

二、研究目的

本實驗利用風力驅動纜車，實驗將纜車運動的齒輪組合做成類齒輪箱，調整齒輪比，提高負載重量，原為單向行走，後改可以雙向行走，再增改高速與低速的運動機構與煞車裝置；並在纜車停用時，可利用風力發電儲能，在無風下仍可使用，可達到生活應用的最佳效果，完成的作品經以下的實驗證明其效果：實驗一~三為基礎測試，以自製風洞實驗，測試在高低風速下，扇葉的受風角度與齒輪設定快、慢速下的轉速；實驗四~五為在3種不同坡度下，以不同方向的風與風速吹纜車，同時纜車的齒輪設定在快與慢速的行走速度下測試。因扇葉裝置是對稱性，所以測量直角相鄰兩側的風力影響改變；實驗六以最佳的條件測試荷重的行走時間。

三、理論分析

(一)風能：

1. 風的形成：高空的冷空氣和地面的暖空氣，因為密度不同，暖空氣向上，冷空氣下降，氣流進行交換，形成了風。
2. 風能的好處：
 - (1)大自然循環可用，取之不盡、用之不竭。
 - (2)風能不須運送與保存。
 - (3)無汙染、綠色乾淨能源。
3. 風所蘊含的能量：

(1)由動能公式：因為風由氣流所造成，計算空氣的動能才能了解風所蘊含的能量

$$\text{動能 Kinetic energy(joules)} = \frac{1}{2} mV^2 \quad , m = \text{質量(Kg)}, V = \text{速度(m/sec)}$$

(2)功率大小：可由計算每秒通過一定空間的空氣擁有的動能

$$\text{功率 Power(watts)} = \frac{1}{2} (\text{mass flow per second})V^2 \text{-----①}$$

*一瓦特(watts)等於每秒作功一焦耳(J)之功率

(3)通過葉片的質量：如果扇葉的面積是A(m²)，當空氣在通過葉片之前，每一秒鐘流動體積就會是AxV，乘上空氣密度 ρ (Kg/m³)就是每秒的流動「質量」。

通過葉片的質量流率 = $\rho \times A \times V$ -----②

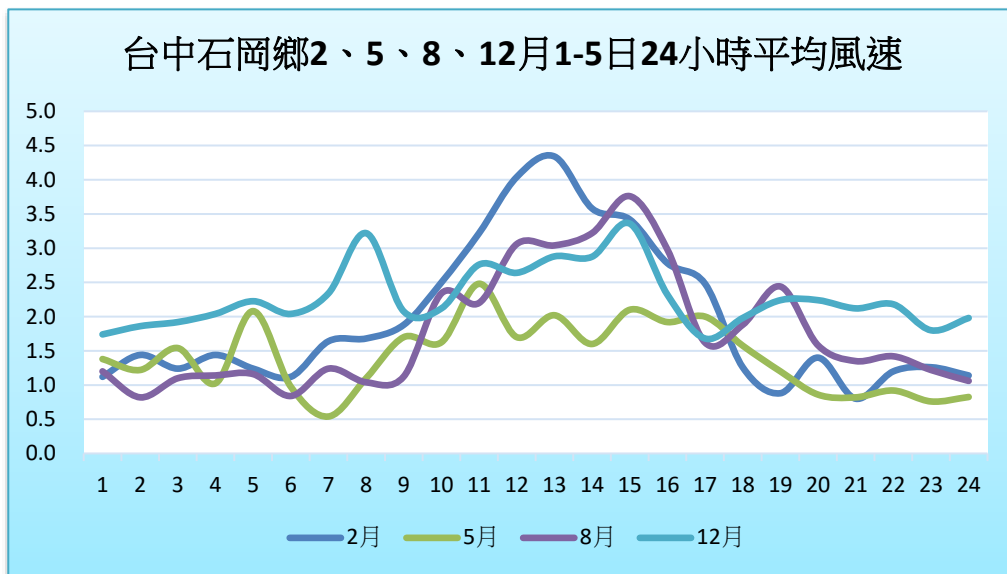
(4)風所蘊含的能量：將①與②整理後

$$\text{功率 Power(watts)} = \frac{1}{2} (\rho \times A \times V) V^2 = \frac{1}{2} \rho \times A \times V^3$$

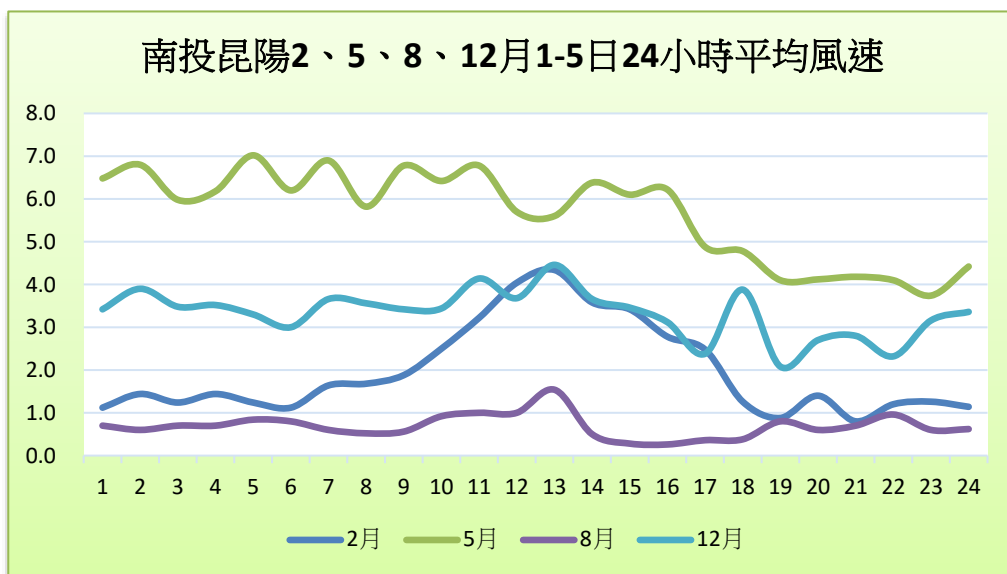
(5)由上述方程式可知風能與風速的三次方成正比。公式可知，欲獲得較大的風能，必需採用較大面積的扇葉，且對正風向，即能接收平均風速較高的風。

(二)高度與風速

統計兩處石岡鄉(高度311M)與合歡山昆陽(3,076M)不同高度，顯示高度愈高風速愈大，同時地面的氣流較為穩定，因此風力纜車安裝的高度愈高愈好。



石岡測量點：經度：120.7776，緯度：24.2760，海拔高度：311m。



昆陽測量點：經度：121.2736，緯度：24.1213，海拔高度：3,076m

昆陽地處高山，高度為3,076m，其地形與平坦地面和海面不同，因海拔高度的改變，高空氣流受到地形高低與熱力的影響，其風速大小變化，較不規律。

石岡鄉的每日平均風速的變化，主要原因是太陽輻射的日變化而造成的，因為地表受熱時間的不均勻。日出後，地面受熱明顯逐漸提高，地面溫度高於空氣溫度，氣流上下發生對流，進行動量交換，上層空氣溫度低密度大，即往下移動，使上層風速減小，下層風速增加；到了晚上則相反。

(三)齒輪

1. 齒輪的種類良多，本組實驗使用市售的齒輪，均為平行傳動方式，主要為正齒輪與齒條。當兩個齒輪的軸心平行，稱為「平行軸」。平行軸齒輪傳動機構中一般使用正齒輪、螺旋齒輪與內齒輪。這類的齒輪是用途最為廣泛的齒輪。

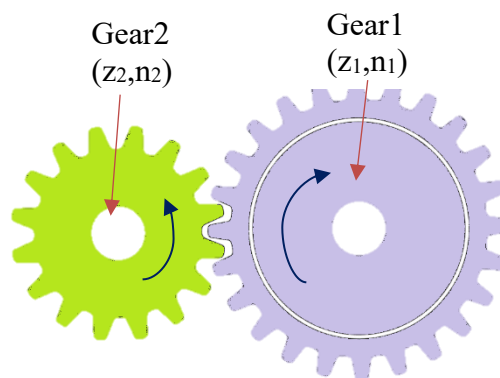
(1)正齒輪：正齒輪的齒線為直線。是在平行的兩軸之間以旋轉運動傳遞動力的圓柱齒輪。是最容易加工製造齒輪，又不產生軸向力，且齒輪配合時，齒輪尺數無限制，故使用最多在動力傳動上。

(2)傳動比：

- a. 如右圖兩個齒輪旋轉方向是相反。

Gear1 右旋時, Gear2 為左旋

- b. 兩個齒輪的齒數不同時，不是增速就是減速傳動。當 Gear1 作為驅動齒輪時為減速傳動。當 Gear2 作為驅動齒輪時為增速傳動。



單對正齒輪傳動示意圖

$$\text{傳動比} = \frac{\text{驅動齒輪的轉速}(n_1)}{\text{被動齒輪的轉速}(n_2)} = \frac{\text{驅動齒輪的齒數}(z_2)}{\text{被動齒輪的齒數}(z_1)}$$

四、設備的前製與實驗

(一) 小型低速類風洞的設計與製作

1. 製作的目的：改善氣流的不穩定性，提高風速，使纜車模型的扇葉受風一致。如右圖有扇葉風扇的風力分布，顯示風力會偏向一側。(2014 洪華)

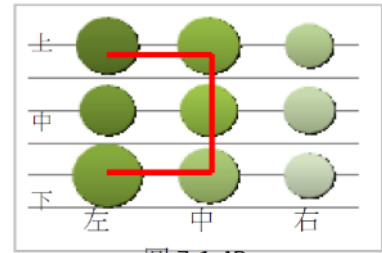


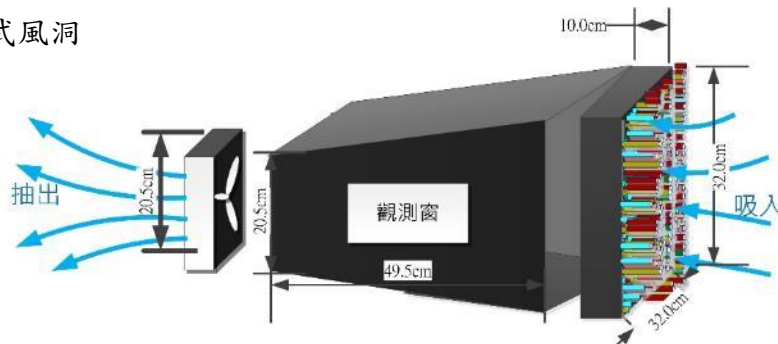
圖 7-1-4B
有扇葉風扇

2. 依據：風洞實驗主要在建立模型與實體的關聯性，當模型與實體符合幾何相似、動力相似、運動相似的三項相似法則，則模型測試後得到的空氣動力特性會與實體相同。
3. 製作：材質 PP 瓦楞板 5.0mm 加厚型，阻尼網為 16 目尼龍網，安裝在蜂窩器的兩側，除固定蜂窩器並使氣流穩定，蜂窩器採用吸管直徑 10.0 mm 長度 10.0 cm 製成。

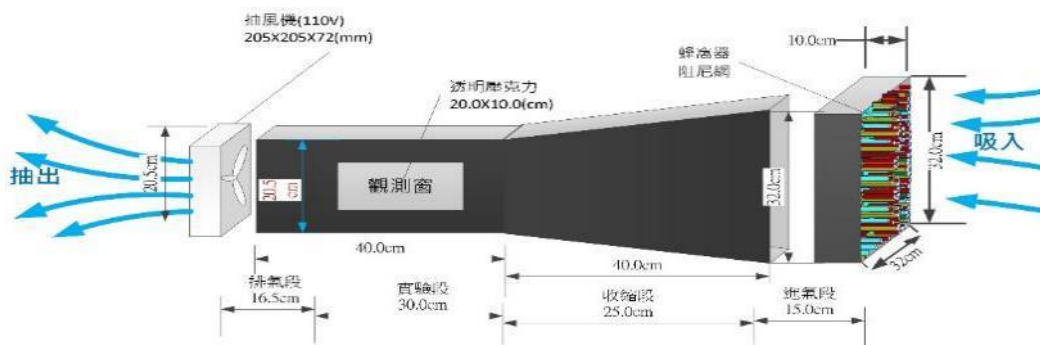
(1) 直筒式風洞設計外觀與規格：



(2) 斜筒式風洞



(3) 綜合式風洞

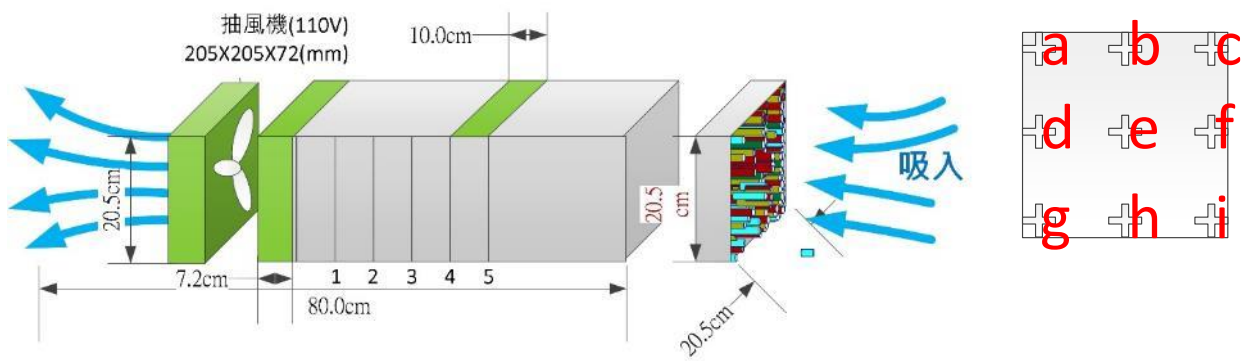


4. 抽風機規格(取自使用說明書)：

Model	Voltage (V)	Freq. (Hz)	Current (A)	Power (W)	Speed (RPM)	Air Flow (CFM)	Pressure (in-H ₂ O)	Noise (dB)
CY12072HBT(L)	115	50/60	0.61/0.86	65/102	2850/3200	700/740	0.93/0.44	61/64

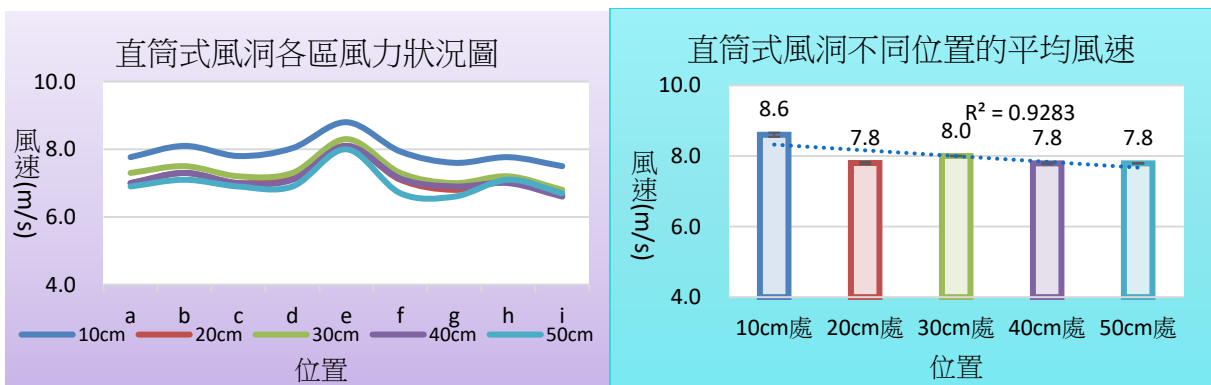
5. 風速測試：

- (1) 電源供應：110 V，以調速器控制抽風機轉速。
- (2) 開啟稱風機，調速器設定最高風速：9.2 m/s。
- (3) 在風洞每隔 10.0 cm 的不同位置(如圖編號依序為 1、2、3、4、5)在其橫切面處，測量 9 個固定點位置(如圖編號依序為 a、b、c……i)的風速，如下左圖與下右圖。



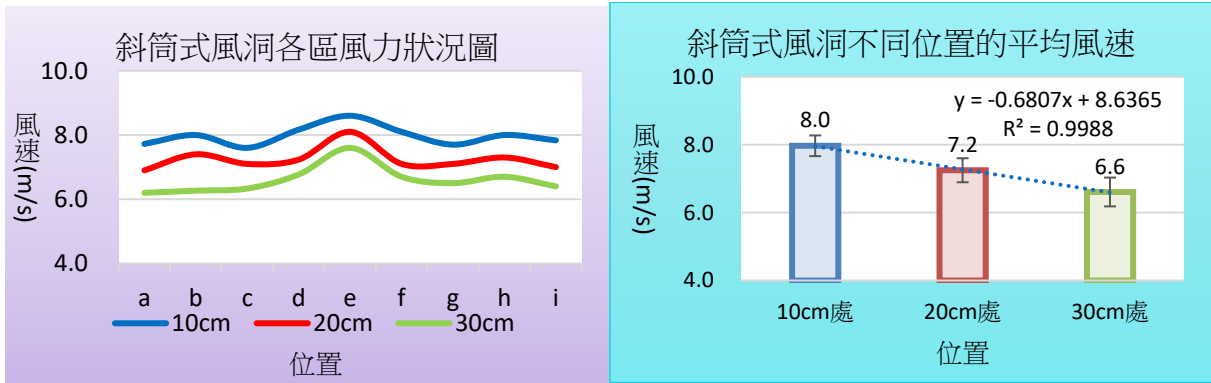
6. 測量結果：(3 次測量平均)

(1) 直筒式風洞



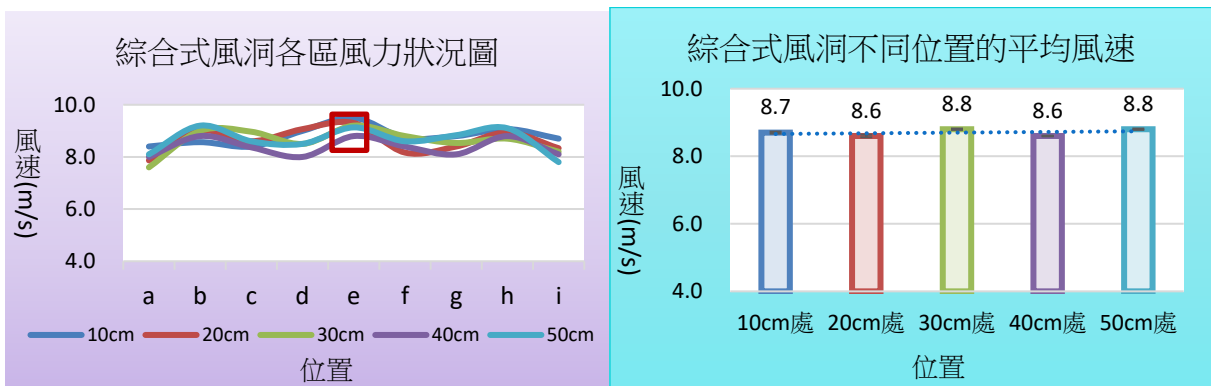
結果：在中心處 e 點兩側 d 與 f 處，風力會偏低，風力以 10.0cm 處最大，20.0cm 後較一致。

(2)斜筒式風洞



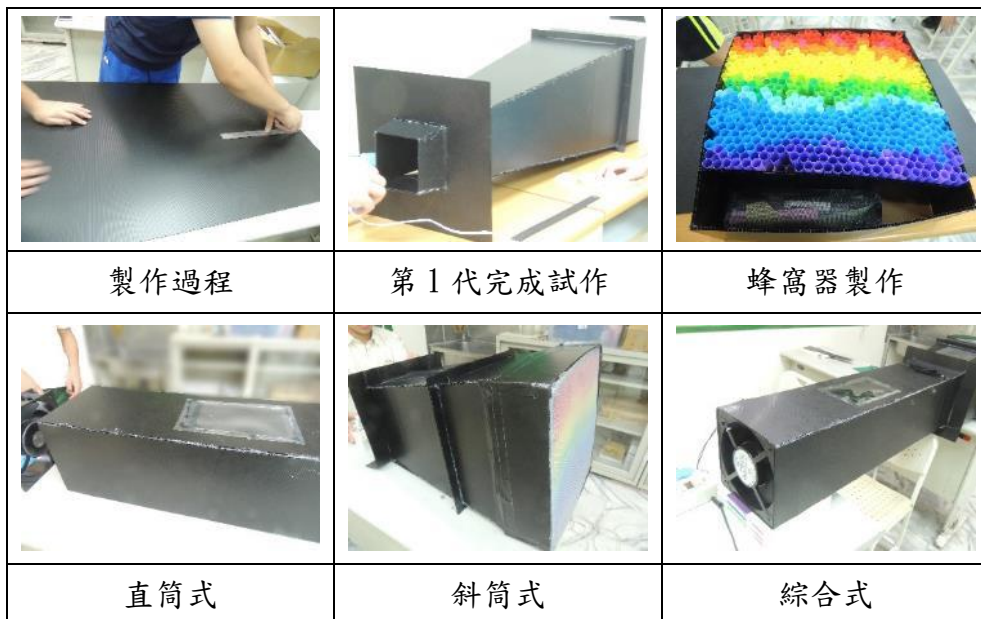
結果：顯示風力以上下的兩側會偏低，中間較一致，風力大小則 10cm > 20cm > 30cm。

(3)綜合式風洞



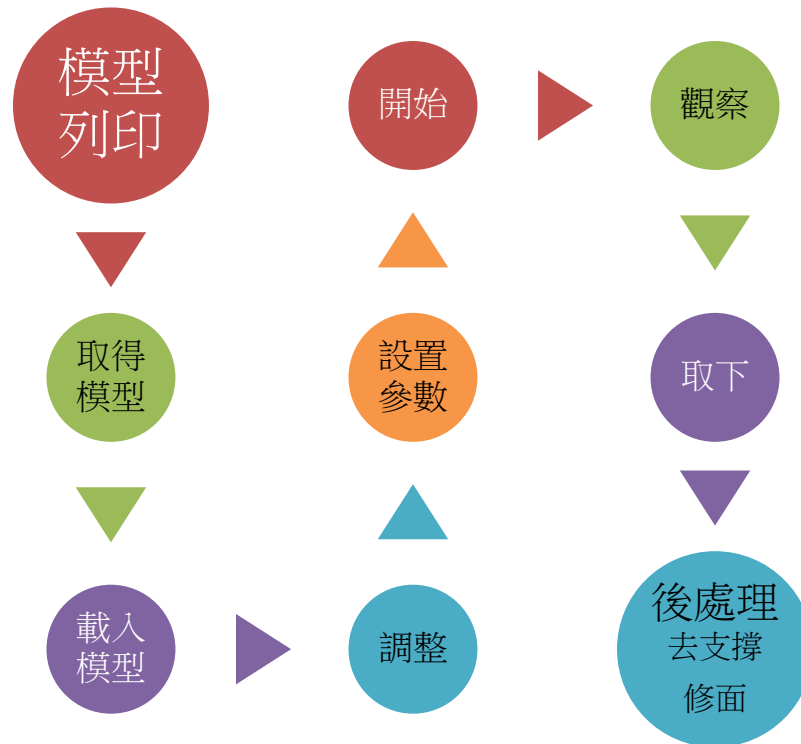
結果：組合斜筒式與直筒式作成綜合式，原風扇風力最高 5.8 m/s，經壓縮後可提升至 9.2 m/s 以上，且測量 3 次標準的標準差值，在 0.02~0.04，e 點位置較高，30.0cm 以後較為穩定，故本組以綜合式完成實驗。

製作實物與測量照片



(二)Flashforge Finder 3D 列印機說明：

1. 原理：採用的列印技術是「擠製成型技術」，也就是將列印材質透過加熱，再施加壓力通過噴嘴，以穩定流量一層層堆疊成三維的立體形狀。
2. 材質：使用 PLA 一種聚乳酸材質，機械性佳，環保易分解。
3. 流程：



4. 製作：

(1)軟體建模與切片：

- A. 以軟體 Autodesk 123D Design 將纜車模型的各部位繪製完成。
- B. 完成圖形轉成.STL 檔，再以切片軟體 (FlashPrint) 設定印件的旋轉角度、擺設位置及支架支撐等設定。
- C. 使用切層軟體設定列印層高、填充、外殼... 等參數，設定列印品質，再轉成 .gx 檔。



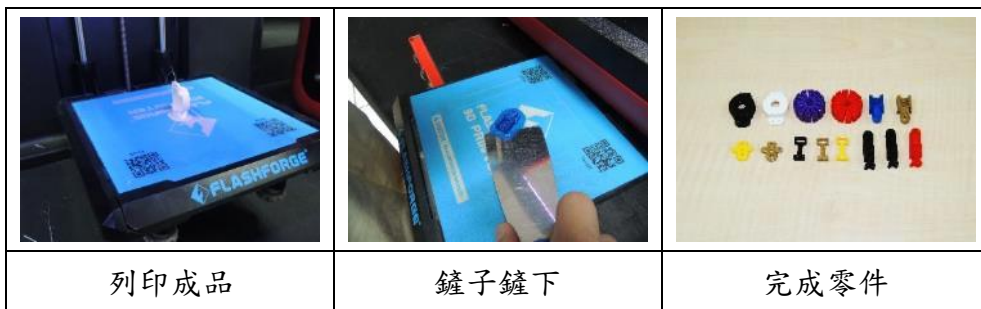
2. 列印：

(1) 列印前先將列印平臺清理乾淨，準備所要列印的 3D 檔，可以用 USB 傳輸線或是以 WIFI 傳送輸出 .gx 格式的模型。

(2) 然後列印頭和列印平臺就會開始加熱到工作溫度，便會開始列印模型，這時就可拔除電腦連接線。

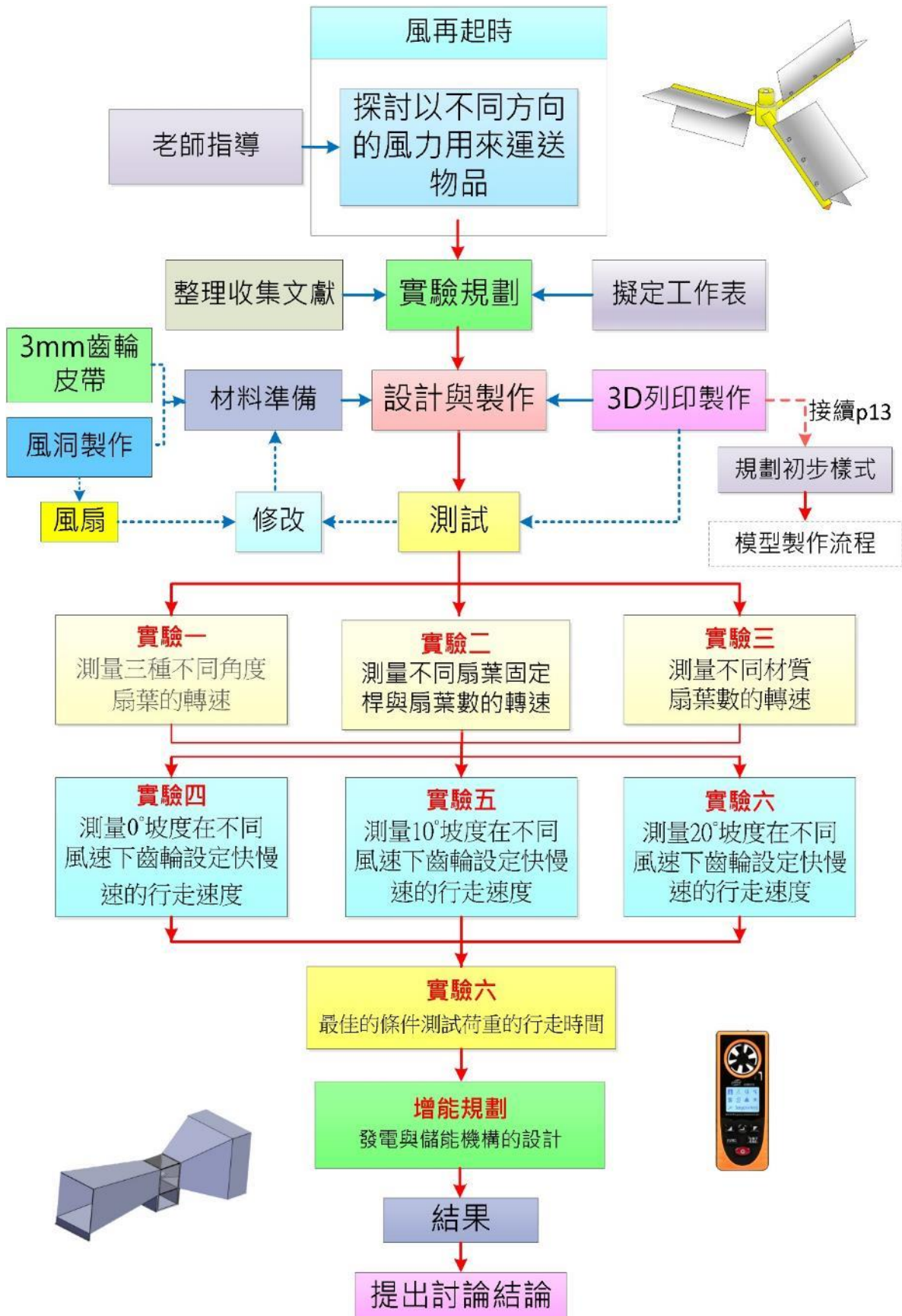
3. 完成取出：

(1) 剛列印完成溫度高，須等待列印品冷卻，準備好鏟子，鏟子會較容易深入列印品底部，讓列印品與臺面脫離，平臺冷卻後放置過久會黏固，不易脫離。



貳、研究方法或過程

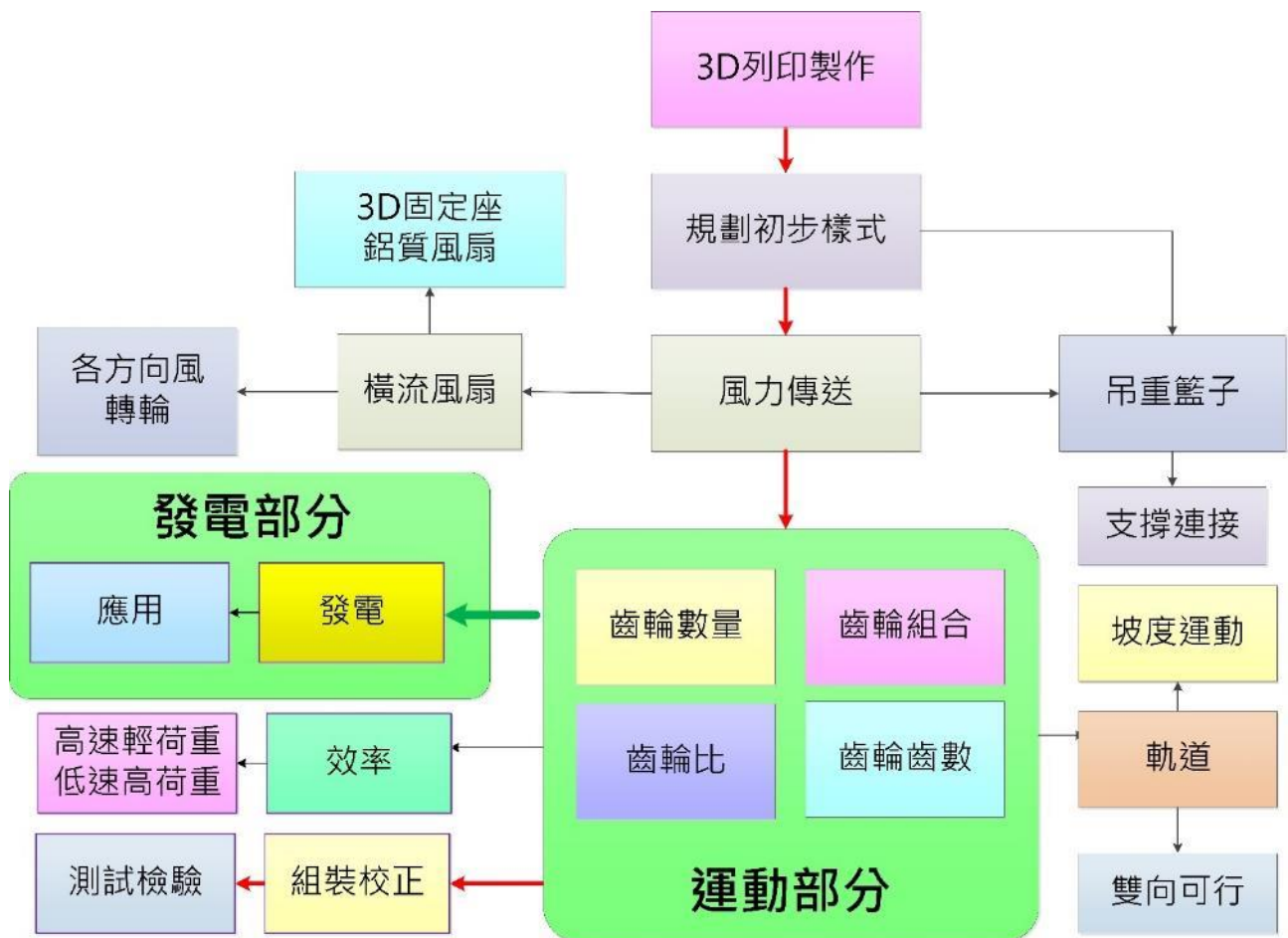
一、實驗流程



二、實驗準備

(一)3D 模型的設計：



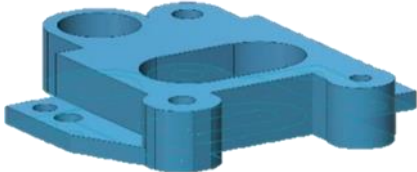
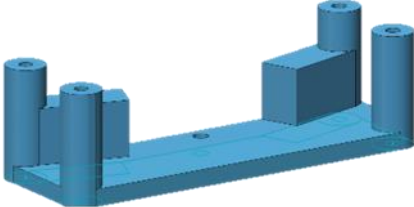
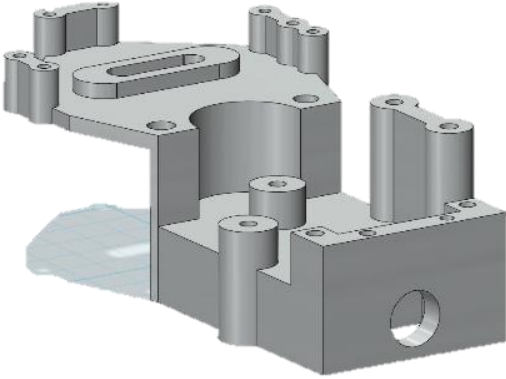

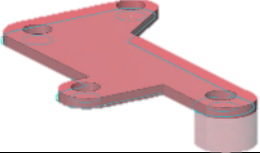

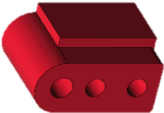
1. 考慮以下：(1)製作可以在軌道上行走的纜車，(2)纜車運動方式：以低速行走吊掛重物或是高速行走無負載，(3)可長期連續運轉、低噪音，(4)可接受各個風向，(5)不同齒輪帶動。
2. 參考各網站的製作模型與機械式玩具相關構造。
3. 模型製作流程：軟體 Autodesk 123D Design(free download).



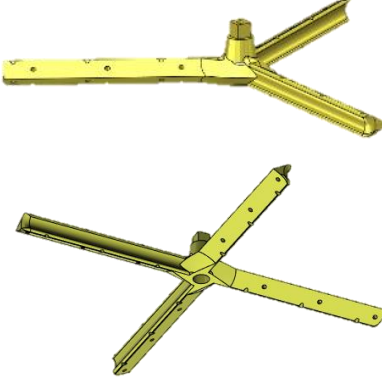


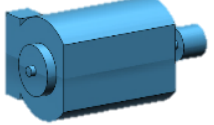
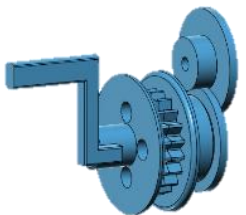
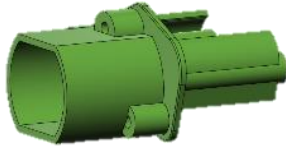
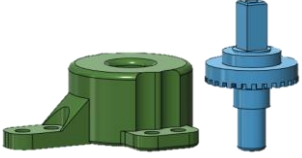
說明：

1. 運動部分，上部：風扇以垂直型橫流扇葉方式，製作風扇固定座，上方可固定並改變不同粗細的固定柱。中部：製作齒輪箱，當風扇的齒輪轉動後，帶動組合的齒輪，可以在齒型皮帶上移動。下部：吊重方式以塑膠盒裝入不同重量砝碼實驗。
2. 發電部分：增設選擇開關、橋式整流器、儲存電力的鋰電池與微型發電機。

(二)3D 列印：4 代模型的設計與自製：

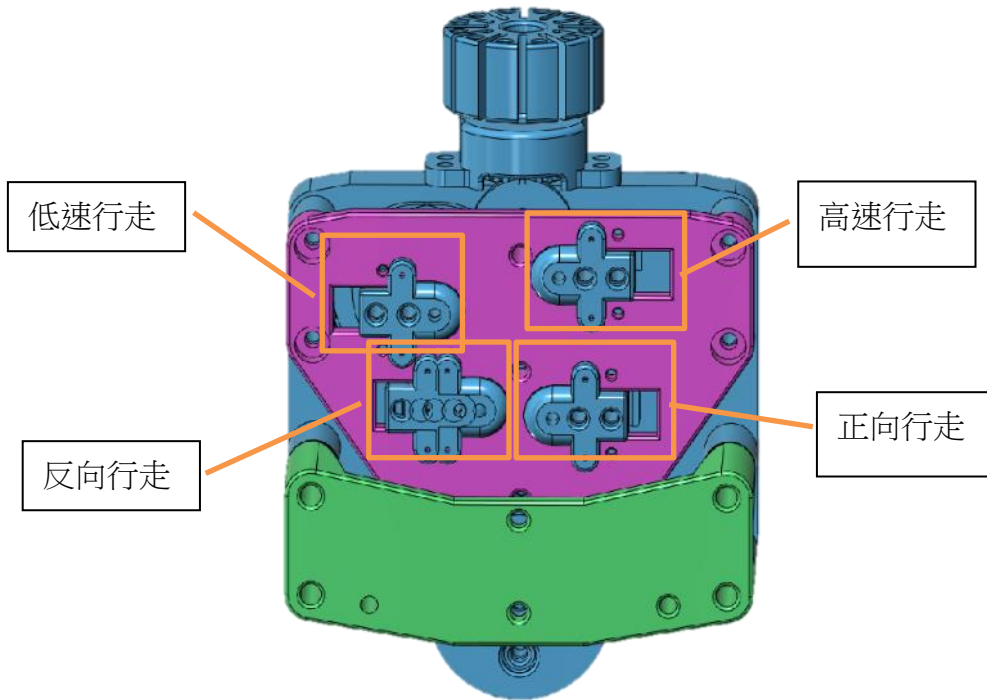
運動部分			
項次	零件名稱	圖片	大小尺寸(mm)
1	風扇固定座		直徑 24.6×20h 深度 5.0 溝槽
2	控制鈕製作		9.5w×14h
3	方向與速度切換 控制座		43L×34w×8h
4	齒輪外固定座		70.3L×24.4w×20h
5	纜車主體		70.2L×39w×31.6h
6	皮帶軌道齒輪		17.5w×6h
7	齒輪內支撐 固定板		16L×28w×4.2h
8	方向控制鈕		13.6L×3.0w×3.1h
9	方向控制鈕下方 移動座		14.7L×8.6w×3.3h

第 5 代增改部分

項次	零件名稱	圖片	大小尺寸(mm)
1	扇葉架 (含 40°、60°、 70°、90°和 180° 的扇葉夾角)		17.0Lx17.0w×2.6h 19.2Lx19.2w×2.6h
2	扇葉		4.5Lx8.0w×0.05h
3	電動馬達齒輪		2.2Lx4.6w×3.0h
4	電動馬達		2.0Lx3.88w×2.0h
5	電動馬達齒輪 (含手搖柄)		2.6Lx2.6w×2.24h
6	電動馬達固定座		31.9Lx44.0w× 23.8 h
7	旋轉軸座		3.0Lx3.4w×2.5h

(三)運動部分的控制與操作說明：

1. 操作控制鈕



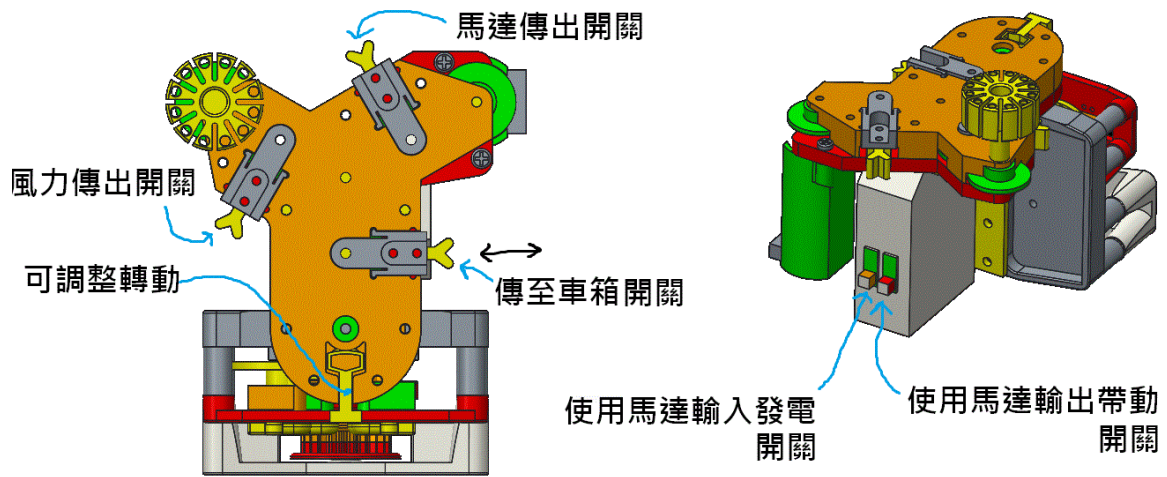
※操作方式：低速行走與高速行走，僅能選擇一項動作執行，不能兩者同時並行。

同理，正向行走與反向行走，也是兩者選擇一項執行行走。

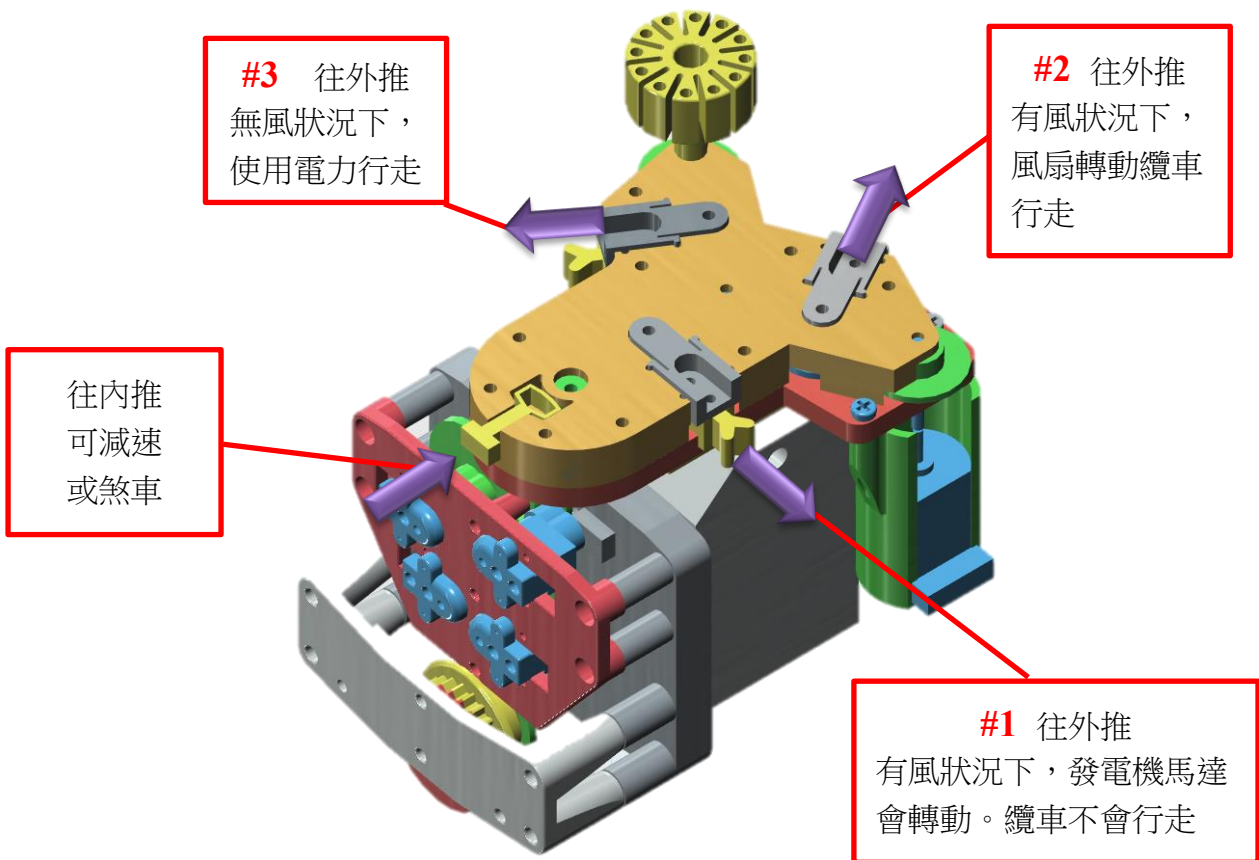
功能	開啟		關閉	
	向右	向左	向右	向左
慢速行走	✓			✓
快速行走		✓	✓	
反向行走	✓			✓
正向行走		✓	✓	
靜止煞車	✓	✓		
空檔、無煞車、可手推			✓	✓

(四)第 4 代增加發電儲能機構與煞車功能：

1. 各部位開關功能標示：



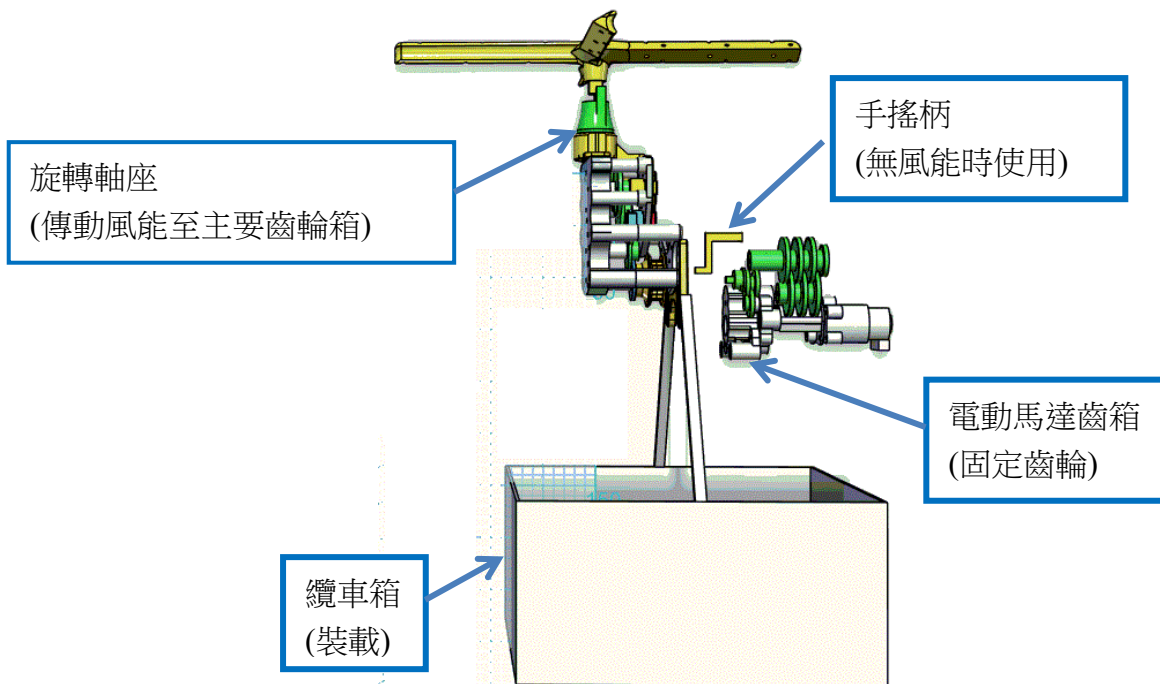
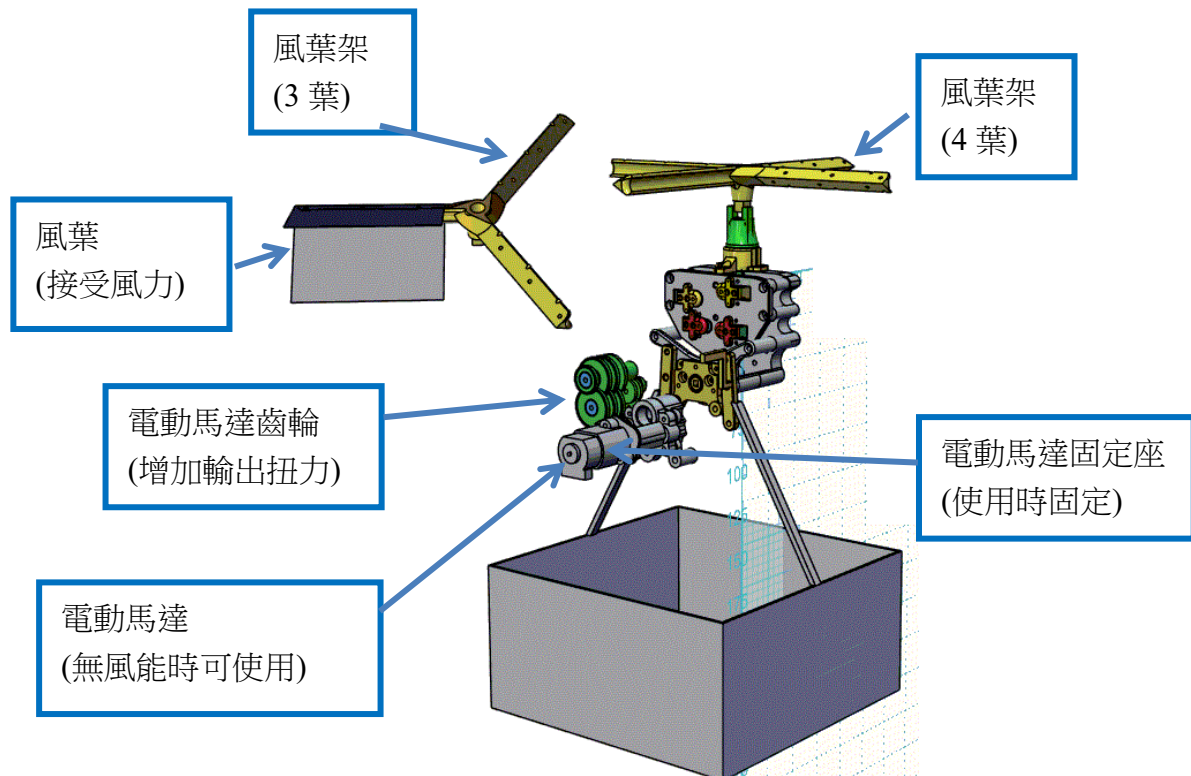
2. 使用說明



狀況		#1	#2	#3
有風	發電，纜車不行走		✓	✓
	纜車行走	✓		✓
	發電又行走	✓	✓	✓
無風	使用電力行走	✓	✓	

(五)第五代的改良：

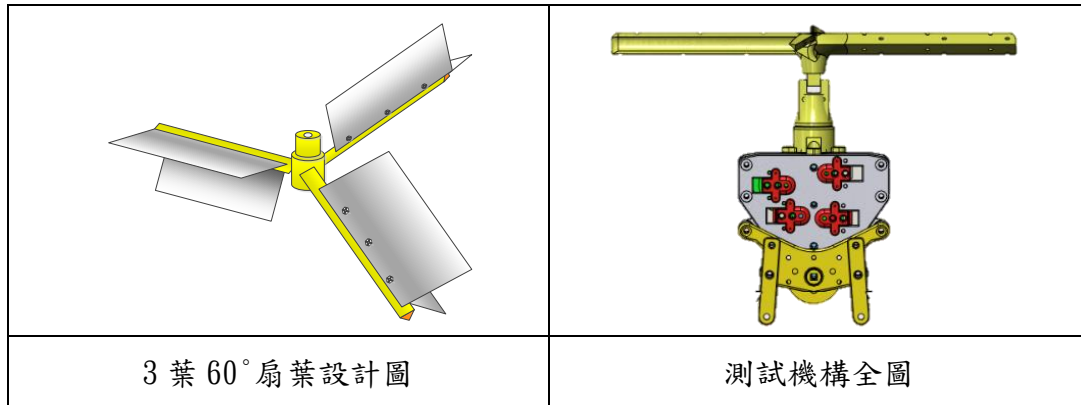
1. 各部位開關功能標示：



三、實驗一：測量3種不同角度扇葉的轉速

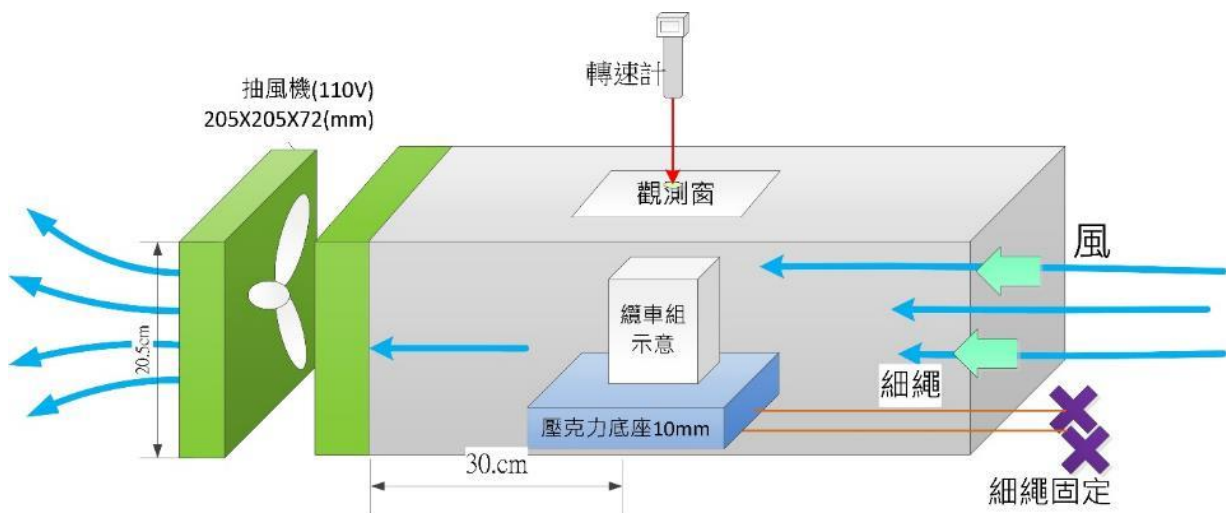
(一)扇葉條件：3葉片、長與寬：4.5×8.0cm、鋁板材料號#1100。

(二)固定柱條件：3D列印，分別與扇葉結合，製作40°、60°、90°和180°的扇葉夾角，做成風扇組，如下示意圖。



(三)實驗準備：

1. 檢查綜合式風洞水平放置實驗桌上，進、出風口無放置物品，避免氣流干擾。
2. 在自製纜車的扇葉固定柱上方以反光貼紙標示，作為光測量轉速的反射標的。
3. 纜車水平放置在距離抽風機30.0cm處，底部以10.0mm壓克力板固定，以束帶綁緊，避免被強風吹走；同時在進氣口底部牽拉兩條尼龍細繩，繫在纜車底部固定座上，風速越大繩子拉得越緊，底座越穩。
4. 壓克力板其上固定風扇接受不同的風力作實驗。放置位置如下示意圖。
5. 在風洞觀測窗下方，纜車扇葉上方，架設轉速計(離風洞15.0cm)。



6. 將轉速計開啟測量不同風速，確認轉速正確。

(四)開始測量：

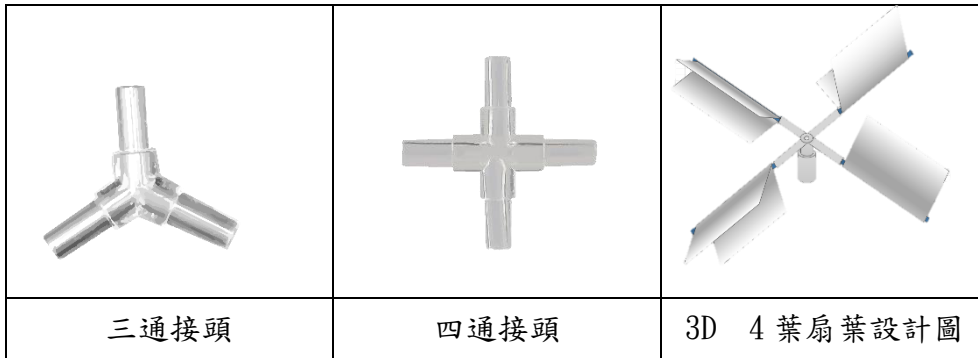
1. 風扇組在高風速下6.0 m/s測試。

2. 利用測速器測量轉速 rpm，進行 5 次重複並記錄於實驗紀錄簿。

四、實驗二：測量不同扇葉固定桿與扇葉數的轉速

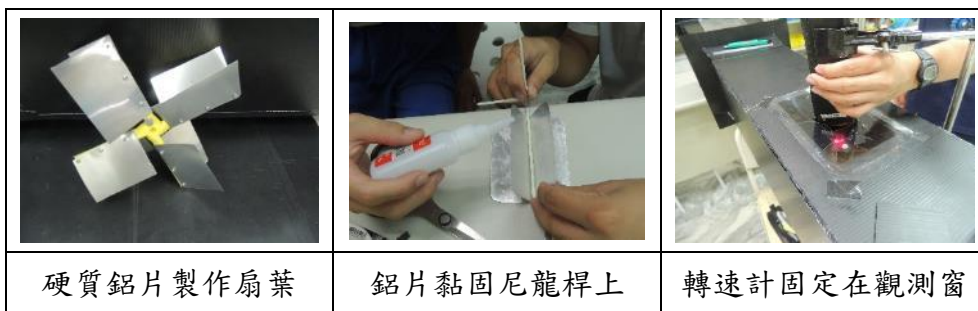
(一) 取水族用通氣三通與四通接頭，接頭端插入 3.0mm 尼龍桿。

(二) 以 3D 列印製作 3、4 葉扇固定座，安裝鋁製扇葉，如下右圖：



(三) 實驗方法同實驗一。纜車風扇組以風速 6.0 m/s，測試角度 60° 扇葉角。

(四) 利用測速器測量進行 5 次重複實驗，並記錄於實驗紀錄簿。



五、實驗三：測量不同材質扇葉數的轉速

(一) 扇葉條件：3 與 4 葉片角度 60°、長與寬：4.5x8.0cm、材質為鋁片與紙片。

(二) 測試條件：風速 6.0 m/s。

(三) 利用測速器測量進行 5 次重複實驗，並記錄於實驗紀錄簿。



六、實驗四：測量 0° 坡度在不同風速下齒輪設定快慢速的行走速度

(一) 條件設定製作：

1. 以萬用角座架設好兩端固定位置。

2. 以黑色 3.0 mm 齒輪皮帶做軌道，固定行走距離為 20.0 cm，做好記號，再以手機 APP 氣泡水平儀確認水平（提供 Gamma Play 1.1 版）。
3. 風扇：以捲尺測量出風口位置在纜車前 100.0 cm，以調速器確認風速為 4.0 m/sec 與 6.0 m/sec。

4. 放置安穩：確認纜車上與 3.0 mm 齒距皮帶的的齒輪有嚙合。

(二) 纜車風扇組以風速 6.0 m/s 與 4.0 m/s，180° 扇葉角，0° 坡度角測試。

(三) 利用計時器測量，進行 3 次重複實驗，並記錄於實驗紀錄簿。

七、實驗五：測量 10° 坡度在不同風向與風速下齒輪設定快慢速的行走速度

(一) 將 3.0 mm 齒距皮帶，以量角器與水平儀調整坡度為 10°。

(二) 實驗方法同實驗四。風扇組在風速下 6.0 m/s 與 4.0 m/s，測試角度 70° 扇葉。

(三) 利用測速器測量進行 3 次重複實驗，並記錄於實驗紀錄簿。

八、實驗六：測量 20° 坡度在不同風向與風速下齒輪設定快慢速的行走速度

(一) 將 3.0 mm 齒距皮帶，以量角器與水平儀調整坡度為 20°。

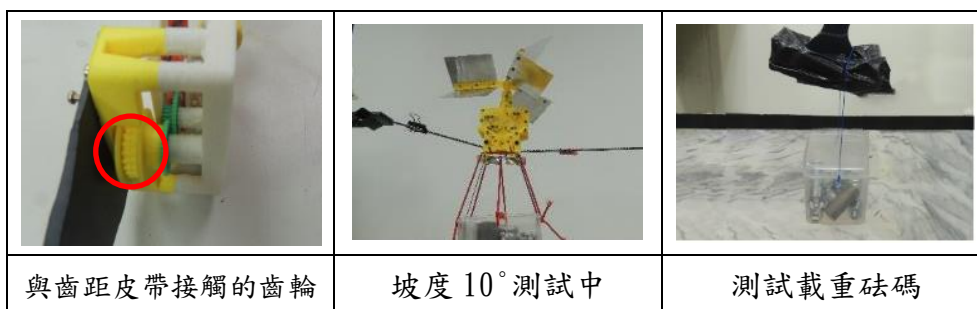
(二) 測試：方法同實驗四。

九、實驗七：最佳的條件測試荷重的行走時間

(一) 條件設定與製作：

1. 纜車荷重設定為低速，下方吊放不同配重的砝碼，每次增加 100.0 g 不等重量。
2. 用逆風由上往下，風速 6.0 m/s，由前方向後方吹。
3. 坡度 10° 的軌道安裝。同前實驗四。
4. 3 片扇葉；扇葉角度 70° 實驗。

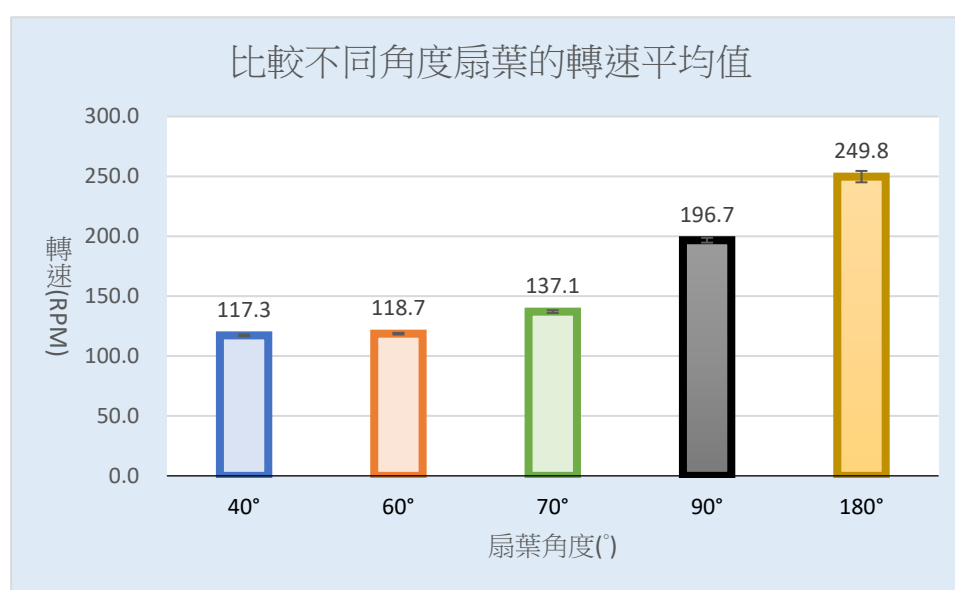
(二) 測試：方法同前(略)



參、研究結果

一、實驗一：測量三種不同角度扇葉的轉速

葉數	中心柱	材質	角度	風速	轉速平均值	標準差
3	3D 列印	鋁片	40°	6 m/s	117.3 rpm	0.78
3	3D 列印	鋁片	60°	6 m/s	118.7 rpm	0.71
3	3D 列印	鋁片	70°	6 m/s	137.1 rpm	1.18
3	3D 列印	鋁片	90°	6 m/s	196.7 rpm	2.00
3	3D 列印	鋁片	180°	6 m/s	249.8 rpm	4.75

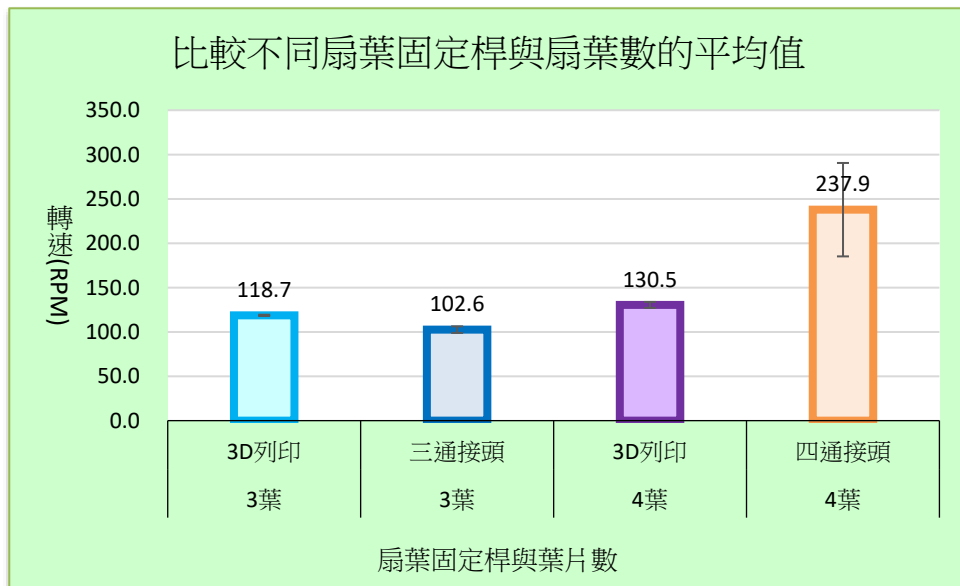


結果：1. 隨著扇葉角度越大，受風面積增加，扇葉轉速越高。

2. 40°~60°扇葉角度的轉速幾乎相同，70°以上轉速增加明顯。

二、實驗二：測量不同扇葉固定桿與扇葉數的轉速

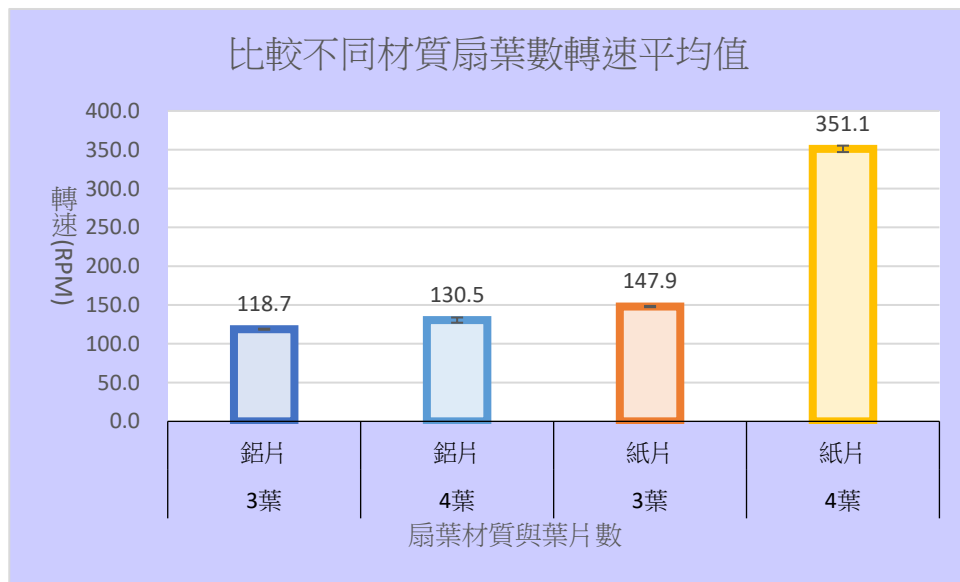
葉數	中心柱	材質	角度	風速	轉速平均值	標準差
3	3D 列印	鋁片	60°	6 m/s	118.7 rpm	0.71
3	三通接頭	鋁片	60°	6 m/s	102.6 rpm	3.72
4	3D 列印	鋁片	60°	6 m/s	130.5 rpm	3.34
4	四通接頭	鋁片	60°	6 m/s	277.9 rpm	52.67



結果：隨著扇葉越多轉速越高，四通接頭實驗結果不穩定。

三、實驗三：測量不同材質扇葉數的轉速

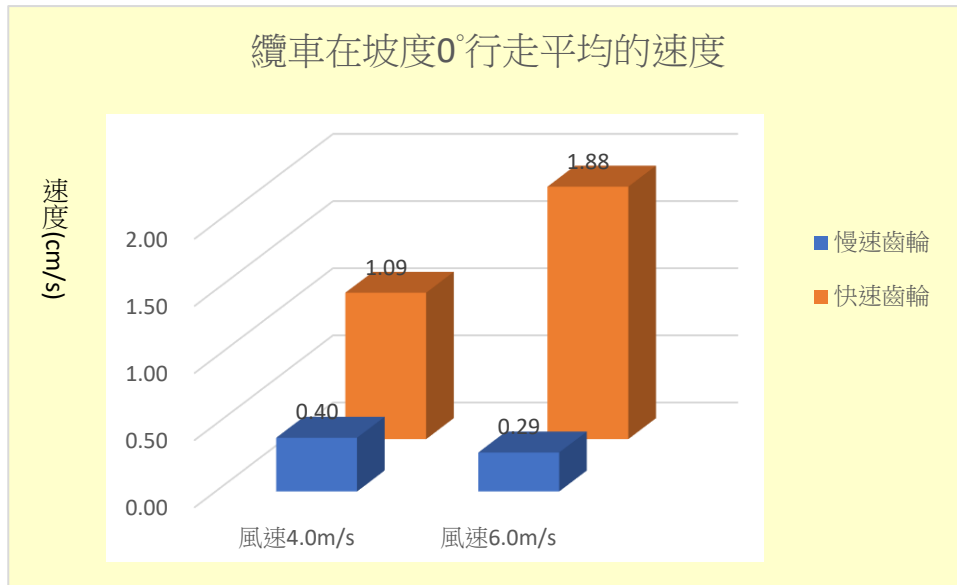
葉數	中心柱	材質	角度	風速	轉速平均值	標準差
3	3D 列印	鋁片	60°	6 m/s	118.7 rpm	0.71
4	3D 列印	鋁片	60°	6 m/s	130.5 rpm	3.34
3	3D 列印	紙片	60°	6 m/s	147.9 rpm	0.79
4	3D 列印	紙片	60°	6 m/s	351.1 rpm	4.14



結果：轉速由快至慢：紙片 > 鋁片，4 葉片 > 3 葉片。

四、 實驗四：測量 0° 坡度在不同風速下齒輪設定快慢速的行走速度(cm/s)

齒輪	風速	速度平均值	標準差
快	6.0 m/s	1.88 (cm/s)	0.046
慢	6.0 m/s	0.29 (cm/s)	0.001
快	4.0 m/s	1.09 (cm/s)	0.011
慢	4.0 m/s	0.40 (cm/s)	0.005

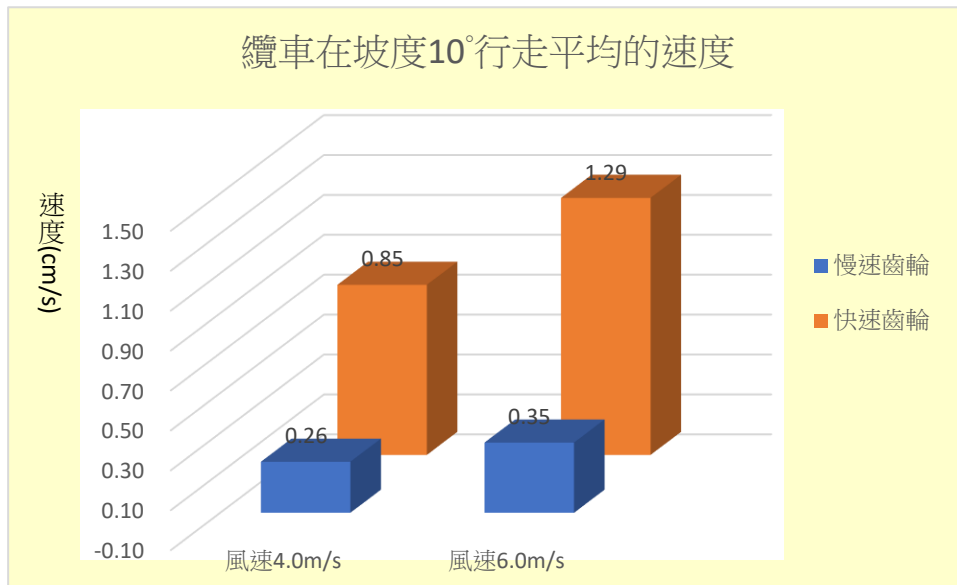


結果：行走速度由快至慢：風速 6.0m/s> 風速 4.0m/s。

快速齒論> 慢速齒論。

五、 實驗五：測量 10° 坡度在不同風向與風速下齒輪設定快慢速的行走速度

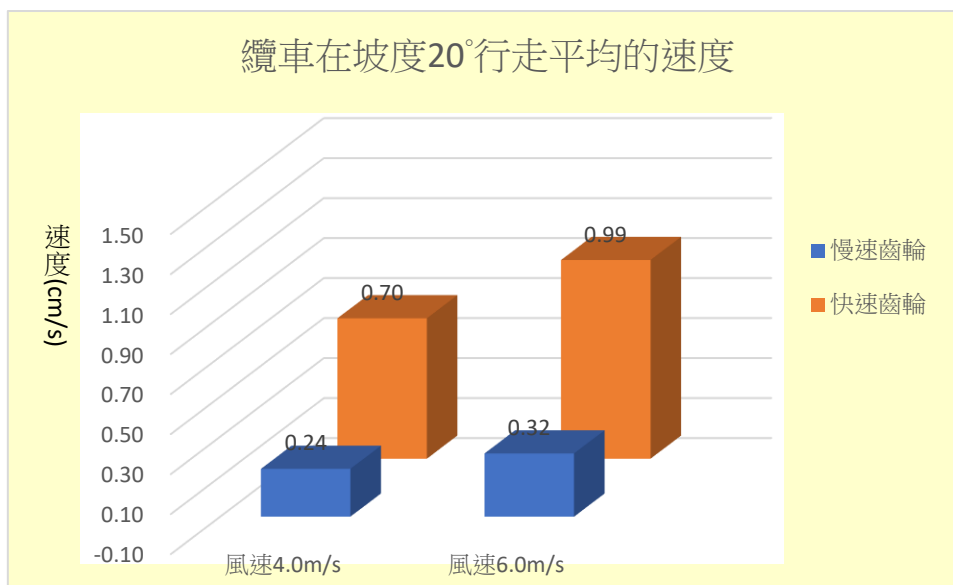
齒輪	風速	速度平均值	標準差
快	6.0 m/s	1.29 (cm/s)	0.034
慢	6.0 m/s	0.35 (cm/s)	0.000
快	4.0 m/s	0.85 (cm/s)	0.007
慢	4.0 m/s	0.26 (cm/s)	0.000



結果：行走速度由快至慢：風速 6.0m/s> 風速 4.0m/s。
快速齒論> 慢速齒論。

六、 實驗六：測量 20° 坡度在不同風向與風速下齒輪設定快慢速的行走速度

齒輪	風速	速度平均值	標準差
快	6.0 m/s	0.99 (cm/s)	0.004
慢	6.0 m/s	0.32 (cm/s)	0.001
快	4.0 m/s	0.70 (cm/s)	0.007
慢	4.0 m/s	0.24 (cm/s)	0.001

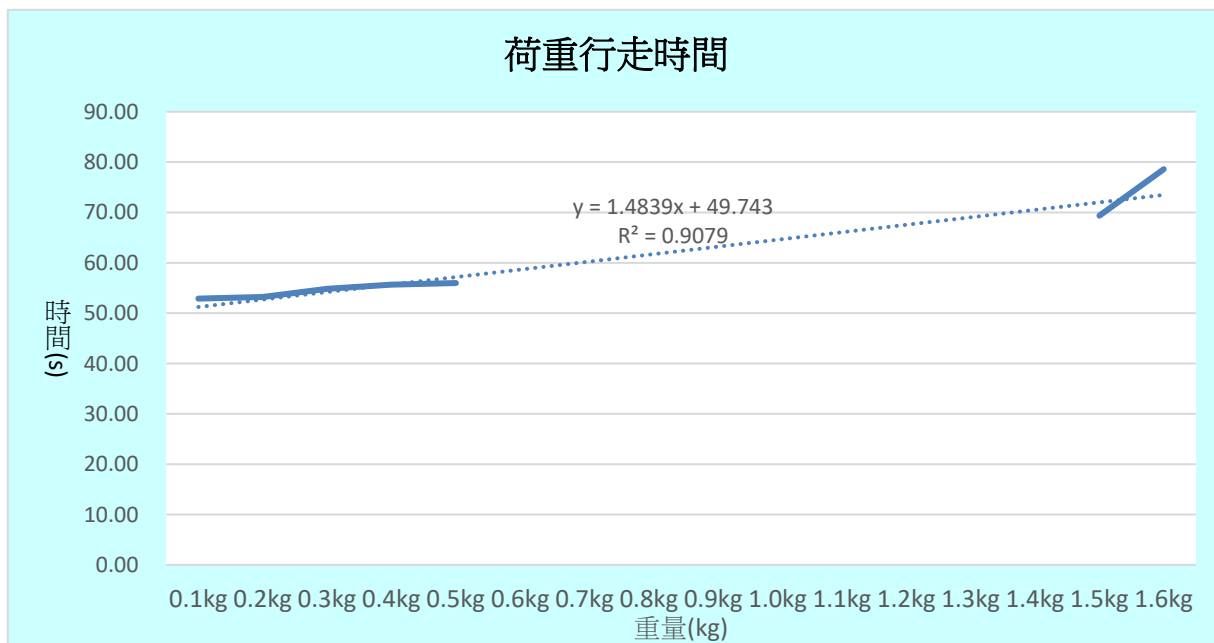


結果：行走速度由快至慢：風速 6.0m/s> 風速 4.0m/s。
快速齒論> 慢速齒論。

七、 實驗七：最佳的條件測試荷重的行走時間(3次平均)

荷重實驗條件：扇葉 3 葉，鋁片，坡度 10°，固定柱 3D 列印，慢速齒輪

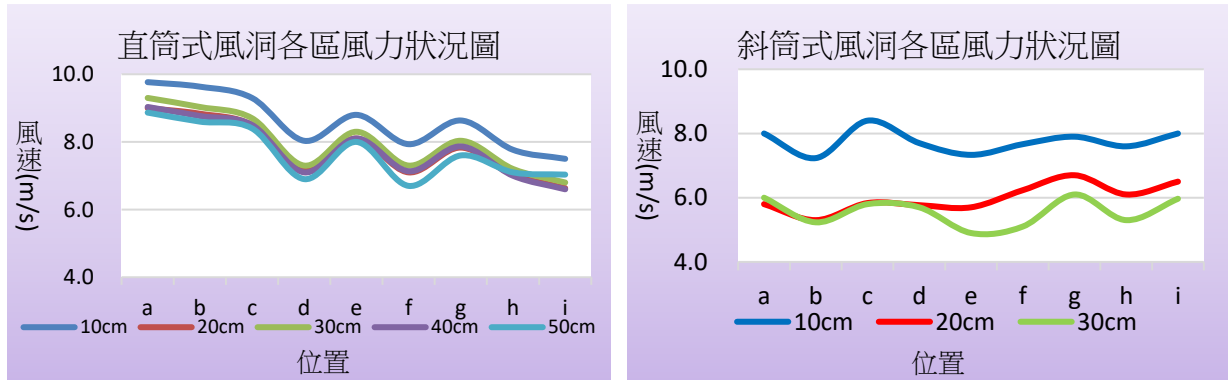
荷重	0.1 kg	0.2 kg	0.3 kg	0.4 kg	0.5 kg	1.0 kg	1.5 kg	1.6 kg
行走時間 平均值(s)	52.89	53.21	54.85	55.65	55.98	60.5	69.37	78.59
標準差	0.07	0.10	0.38	0.21	0.38	0.19	0.57	0.29



※測試最高重量 1.6kg，行走需時 170.21s，速度 0.12cm/s。

肆、討論

一、工欲善其事，必先利其器：本實驗初期以風扇作為風力來源，但易受周圍氣流影響，數據上較為不穩定，且風速不足，因此自製「類」風洞來實驗，幸得廠商提供 Air Flow700 CFM 風扇，其風速最高達 5.6 m/s，經壓縮後在「類」風洞中測量有達到 10.0 m/s 風速，本組以穩定最高 9.2 m/s 實驗。自製了 3 種風洞，使用扇葉機械式的風速計測量，分別測量其各段風速，結果如下兩圖：

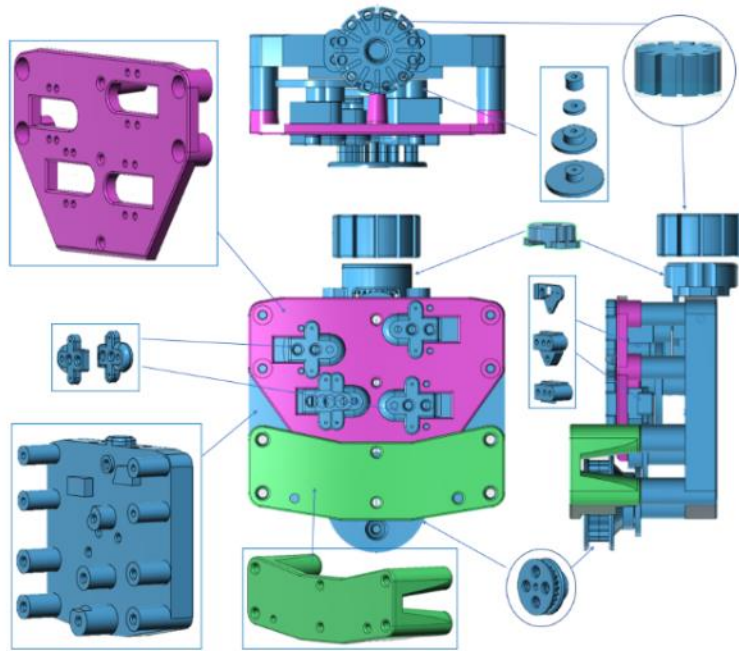


以上左圖為例，a、b、c 三處風力較高，檢查後發現風道左上有縫隙，造成氣流外洩，以致偏高，上右圖的風力不對稱明顯，研判風速不穩，以上經拆散再重新黏貼，加強結構，避免因抽風造成變形，一再測試至正常。

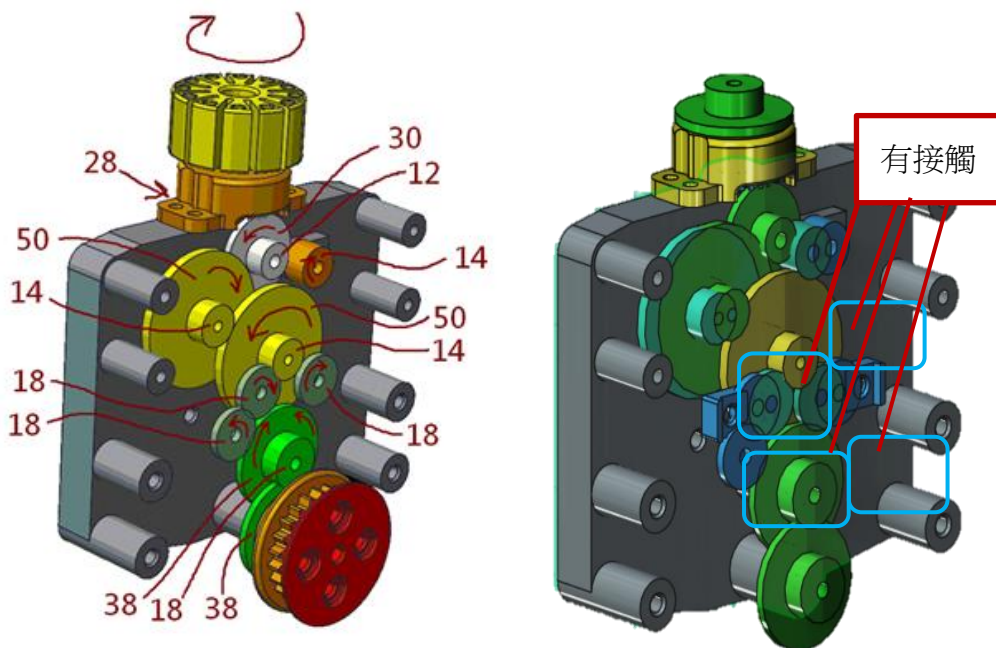
二、風力纜車的製作，是以 3D 模型列印完成，一共歷經 5 代改良，改善如下表：

改善經過	使用功能
第 1 代	受不同方向風力後，纜車會單向移動
第 2 代	風力纜車可以控制正、反雙向行走，齒輪比較大，荷重能力佳
第 3 代	<ol style="list-style-type: none"> 1. 具有空車無負載時的高速行走功能，以節約時間 2. 具有可增加扭力的低速行走功能，以提高負載重量
第 4 代	<ol style="list-style-type: none"> 1. 具停止狀況煞車和行進中可減速功能 2. 在纜車停用或行進中，可發電儲能，以備無風狀況下使用
第 5 代 (符合實際的改善)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 改善無風或電力時，增加具手動備用功能之搖柄。 2. 橫流扇葉改善以 3D 製作固定座，扇葉以鋁片取代寶特瓶 PET 材質，容易維護。 3. 取消第 4 代齒輪切換與發電儲能機構，以減輕本體重量。另設發電機組功能供小量發電求救、警示功能。

風力纜車能完成，主要在設計的齒輪的組合，在齒輪的選用，使用現有的齒輪來做實驗，省卻本組設計與製作的困擾，在製造工廠裡製作一個齒輪，其程序非常的複雜，目前塑膠齒輪已有大量製造，其價格甚低，故本實驗直接取用市售品，以現有的齒輪，設計用在纜車可以吊重後平衡的行走。第4代的運動機構與第3代是一致。分解如下圖：



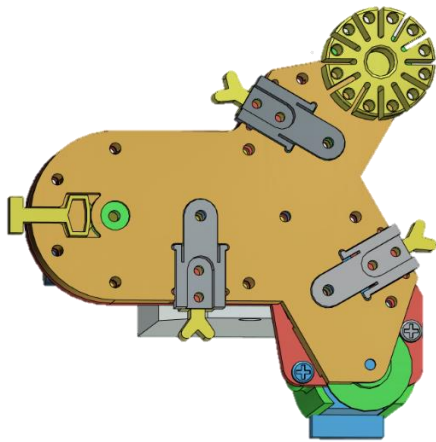
本實驗所使用的齒輪兩種運動方式，下左圖為前進方向，下右圖為反向行走。在快、低速行走與正、反向行走，則以手動的方式來控制齒輪離合，如下圖控制器對照上圖的齒輪：



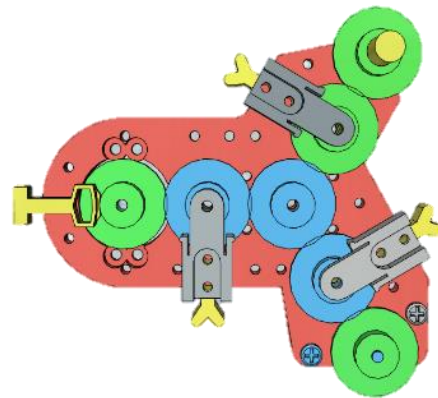
第3代的運動部分設計組合，其重點除維持在可以正反向行走，再增加快、慢速，可以在不同荷重時，有更高的效率，所以在設計上考慮以兩種方式組合：兩種齒輪比，如下：

$$\text{快} = \frac{30}{28} \times \frac{50}{12} \times \frac{38}{14} \times \frac{38}{18} \quad \text{慢} = \frac{30}{28} \times \frac{50}{12} \times \frac{50}{14} \times \frac{38}{14} \times \frac{38}{18}$$

第4代的運動部分要配合新增減速、發電及儲能，故將風扇外移，使用7個齒輪以1:1大小傳動，如下圖，具有4個控制開關：(此部分於第5代改善減輕重量取消)



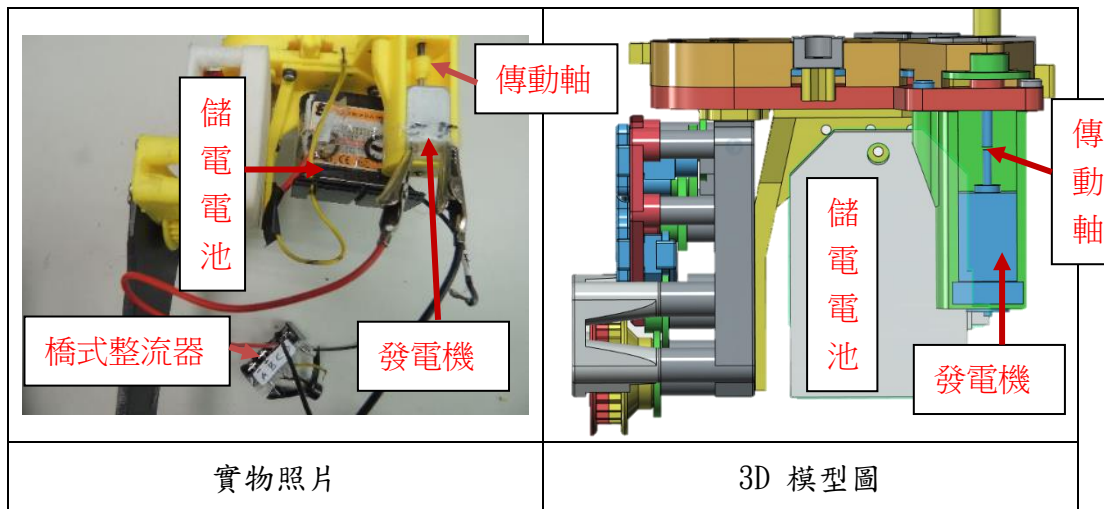
外觀有蓋板



取下蓋板後的內部

三、發電部分：

(一)下面圖示，發電與儲電的裝置。(此部分於第5代改善減輕重量取消)



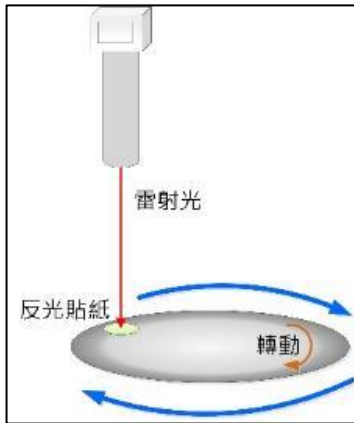
風洞內扇葉材質與角度實驗

四、實驗一：測量3種不同角度扇葉的轉速

五、實驗二：測量不同扇葉固定桿與扇葉數的轉速

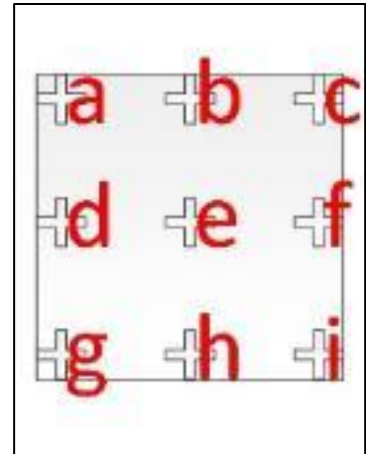
六、實驗三：測量不同材質扇葉數的轉速

(一)實驗一~三使用自製的風洞實驗，其目的提供一個有穩定氣流的環境來實驗，自製的風力纜車在風速 7.8m/s 和 9.2m/s 下，可以正常運行。初期以保特瓶製作扇葉，但市售飲料的瓶子都較為軟質，當風速較高時，會使扇葉變形，以致實驗數據產生較大的誤差，為改善此問題，我們找到硬質且較厚的寶特瓶製作扇葉來做實驗，經不斷改良目前使用鋁片來做扇葉。

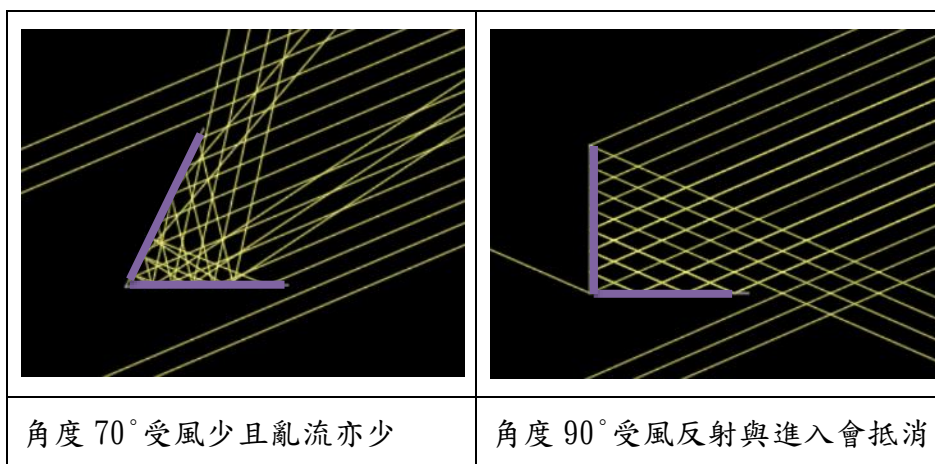
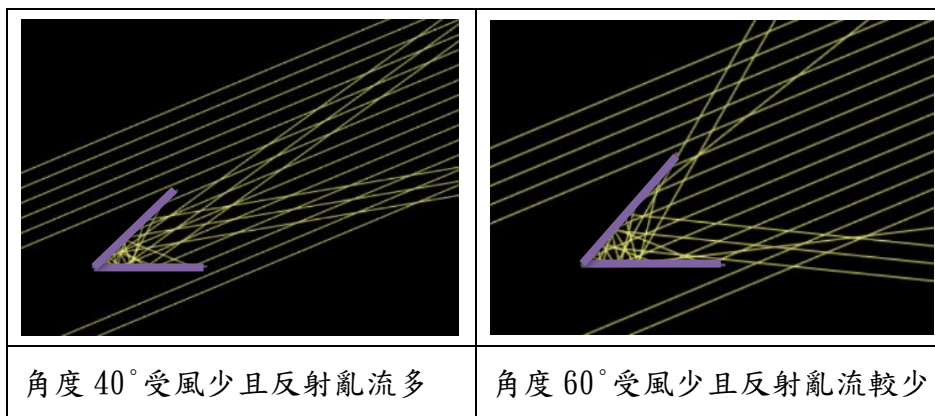


(二)本實驗使用的轉速計，以光學原理，先發射光線後，照射扇葉固定軸的邊緣處的銀色貼紙，因為風扇轉動，反射光非連續，會被偵測到感測時間的間隔，待 1-2 分鐘後，轉速穩定即能得知轉速；若反射片離中心點太近，則反射光是連續光，無法測得轉速。

(三)在風洞裡是同方向的風，我們測量以距離風扇 30.0 cm 處的 e 點位置風速較為穩定，測量 9 個點位置，發現中心處 e 點風速會較高，且變異較小，4 個角落風速較低。在距離風扇 10.0 cm 至 50.0 cm 間風速大致相同。



(四)實驗一：測量 3 種不同角度扇葉的轉速，本組設計了 40°、50°、70° 三個角度，以光學軟體光線模擬右上來風，由下圖可知扇葉角度愈大，集風愈多，轉速愈快。



(四)實驗二~三：扇葉轉速的快慢與固定桿、扇葉材質有關係，固定桿採用自製 3D 模型其固定效果較以直徑 3.0mm 尼龍細條為堅固，尼龍條具有彈性，受風後會變形，轉速變異大，標準差高達 52.67。實驗三的兩種材質 250 磅銅版紙與鋁片，剪裁後重量為：

材質 \ 測量	平均值	標準差
鋁板	3.92	0.06
銅版紙	1.44	0.01

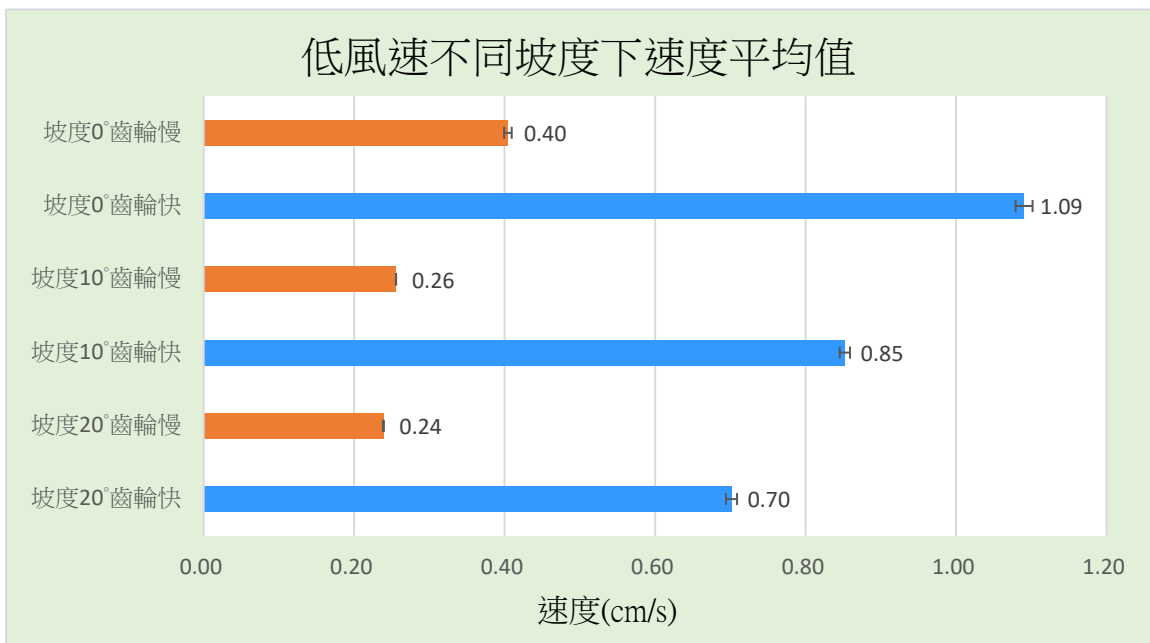
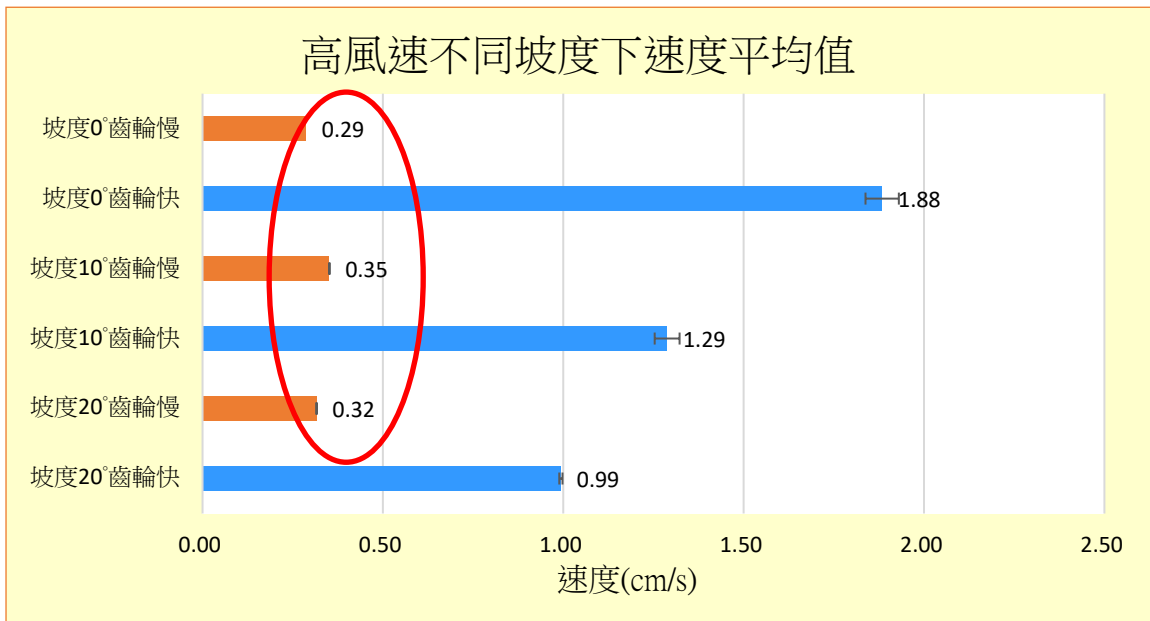
以上可知銅版紙較輕其轉速會較快，但考慮實際使用時易受天候影響，故選擇了鋁板實驗。

不同坡度下齒輪設定快慢實驗

六、實驗四：測量 0° 坡度在不同風速下齒輪設定快慢速的行走速度

七、實驗五：測量 10° 坡度在不同風速下齒輪設定快慢速的行走速度

八、實驗六：測量 20° 坡度在不同風速下齒輪設定快慢速的行走速度



結果：在 6.0cm/s 高風速下，以慢速荷重齒輪在三種不同坡度 0°、10°與 20°的行走速度較為接近。

九、實驗六：最佳的條件測試荷重的行走時間

第 5 代改良後：本體重量 652.8g。在設定慢速行走，上坡 10°下，附載 1,600 g，行走時間是 170.21 s，換算速度 $20.0/170.21 = 0.12 \text{ cm/s}$ 。過高的附載難以行走，齒輪的嚙合處會滑開。

伍、結論與應用

一、本組以 3D 列印設計機構本體，並組合塑膠齒輪做成纜車，作品經 5 次改善，實驗比較自製扇葉的轉速，完成基礎測試：

實驗一	測量 3 種不同角度扇葉的轉速
實驗二	測量不同扇葉固定桿與扇葉數的轉速
實驗三	測量不同材質扇葉數的轉速

結論：扇葉 180° 夾角時，正向的受風面積大，固定桿以自製 3D 列印模型其固定效果佳，扇葉材質採用鋁片。

二、實驗四~六為纜車在不同坡度、風速與齒輪設定快慢條件下的測試。

實驗四	測量 0° 坡度	在不同風速下齒輪設定快慢速的行走速度
實驗五	測量 10° 坡度	
實驗六	測量 20° 坡度	

結論：風力纜車於不同坡度、不同風速下，齒輪設定快、慢速分別測試，同時在附錄：第四代組合測試各種方向來風，得到各組規律結果無差異，**顯示自製風力纜車確實可行。**

三、實驗七之荷重實驗：在坡度 10° 可以荷重 1.6 Kg，有 0.12 cm/s 的速度。

四、完成作品具以下功能：

1. 可以順、逆風行走各方向吹來的風均可以利用。
2. 纜車可以控制正反向行走。
3. 可調整快慢速度, 以節省時間。
4. 設定慢速行走時扭力增加，可負載重量。
5. 在無風情況下，可使用電動馬達驅動纜車行走。
6. 在無風無電力下，可旋轉搖柄帶動纜車。
7. 在故障及緊急情況時，可打空檔滑向下坡方向停靠站。

未來展望：

本研究針對風力纜車進行初步研究，當機體一旦放大製作，可以預測問題將湧至，因此後續的相關研究的範圍仍十分寬廣。未來期可在不使用風力纜車時，其仍可發電，儲能後可供應偏遠山區臨時使用，能具實用性。另風力纜車若可用於觀光產業，不啻是另一種新的吸引人們好奇心的方法。

陸、參考文獻

小原齒輪工業株式會社(2014)。齒輪技術入門篇。台北市。3-9 頁。

王志春、宋麗莉、何秋生、劉愛君、劉榮、葉燕翔(2007) 風速隨高度變化的曲線模型分析
熱帶氣象學報 Vol. 23, No. 6, Dec., 2007

周宇若(2009)。風力發電葉片與電風扇葉片的不同。查詢日期：2019/10/12。網址：

<https://www.pixnet.net/pcard/s90304a123/profile/info>

洪華、張凱傑、張雅筑(2014)。空穴來風—無扇葉風扇之風向、風速與曲率改變之探究—

中央氣象局觀測資料查詢 查詢日期：2020/9/10。網址：

<https://e-service.cwb.gov.tw/HistoryDataQuery/>

中華民國第 54 屆中小學科學展覽會作品說明書。

陳奕澄、賴鴻翔、劉晉璋(2016)。啟發式機件原理教學模組。全國小論文。查詢日期：2019 /10/24。網址：

<https://www.shs.edu.tw/works/essay/2016/11/2016110721501583.pdf>

郭偉謙、高宗佑、李濤昀(2018)。3D 列印葉片對電力及風力生成的影響。中華民國第 58 屆中小學科學展覽會作品說明書。

趙珩宇(2015)。科學實驗與科技實作的 3D 列印應用。科學研習 JAN 2015 No. 54-135

道明中學。風力發電機。查詢日期：2019/10/02。網址：

http://www.mingdao.edu.tw/acaaff/facility/volunteer/green_room.pdf

鄭正元等十人(2017) 3D 列印：積層製造技術與應用。新北市。全華圖書出版。

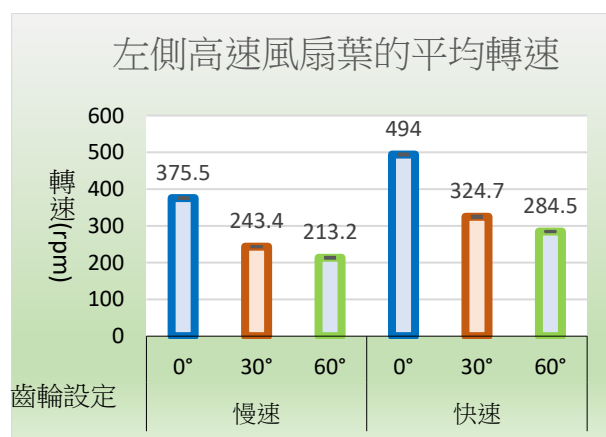
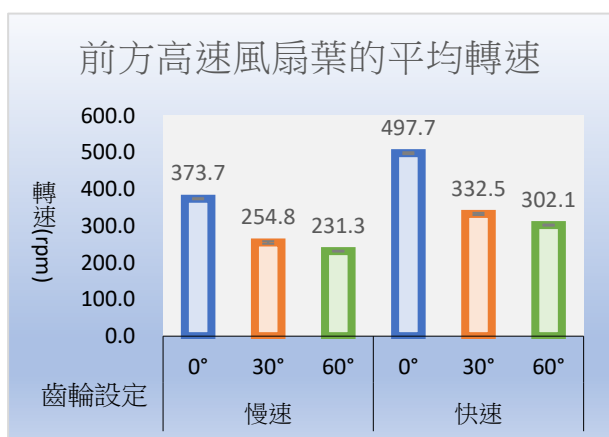
劉政熙，分離式空調機橫流扇相似定律之研究。碩士論文。國立臺北科技大學冷凍空調工程研究所，台北，2004。

羅振春(2006) 高山的氣候 行政院農業委員會林務局編印 Vol. 32 No. 2 2006. 04。75 頁。

附錄：測量不同方向的風與不同坡度下對扇葉轉速的影響

一、補充實驗一：測量前方與左方**高風速**下，扇葉角度與齒輪設定快慢速的轉速(3次平均)

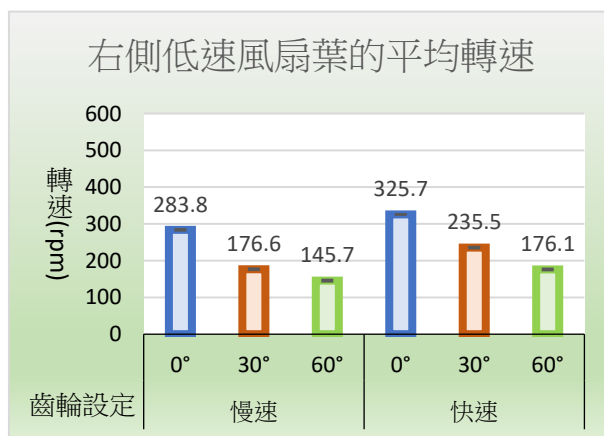
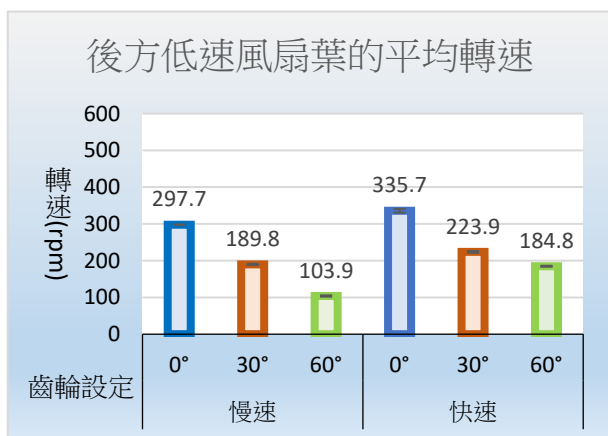
風向	前方來風						左側來風					
	慢速			快速			慢速			快速		
風扇角度(°)	0	30	60	0	30	60	0	30	60	0	30	60
平均轉速 (rpm)	373.7	254.8	231.3	497.7	332.5	302.1	375.5	243.4	213.2	494.0	324.7	284.5
標準差	1.44	3.45	1.17	2.50	2.89	1.47	2.41	1.72	2.59	2.82	2.91	1.76



結果：前方來風與左側來風測試結果，兩者的實驗結果相當一致。

二、補充實驗二：測量後方與右側**低風速**下，扇葉角度與齒輪設定快慢速的轉速(3次平均)

風向	後方來風						右側來風					
	慢速			快速			慢速			快速		
風扇角度(°)	0	30	60	0	30	60	0	30	60	0	30	60
平均轉速(rpm)	297.7	189.8	103.9	335.7	223.9	184.8	283.8	176.6	145.7	325.7	235.5	176.1
標準差	0.83	1.71	1.83	5.13	2.43	1.39	2.22	2.30	2.66	1.15	2.30	2.44

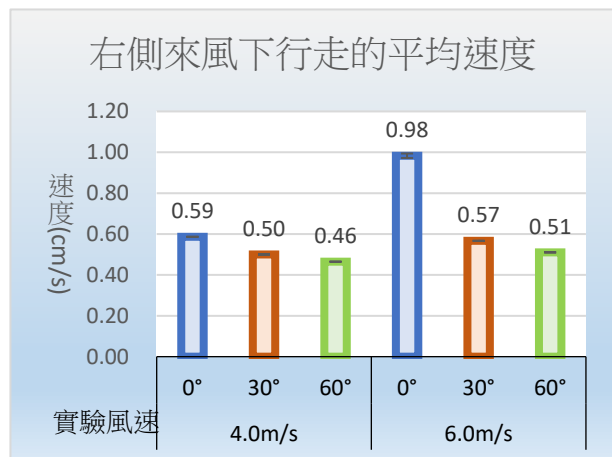
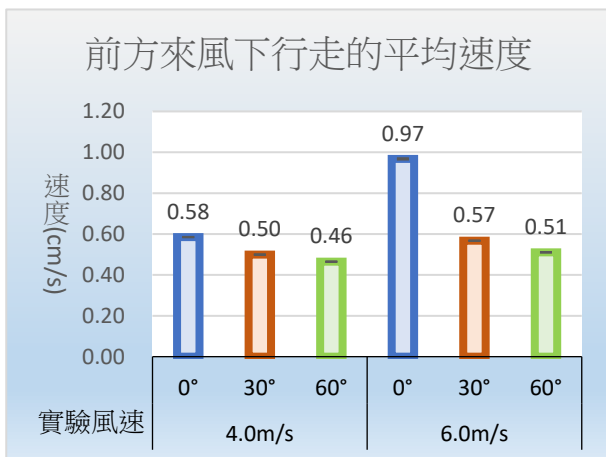


結果：齒輪設定快速行走，較設定慢速轉速快，正面迎風的扇葉有較高轉速 $0^\circ > 30^\circ > 60^\circ$ 。

三、補充實驗三：測量 0° 坡度在不同風向與風速下齒輪設定快慢速的行走速度(3 次平均)

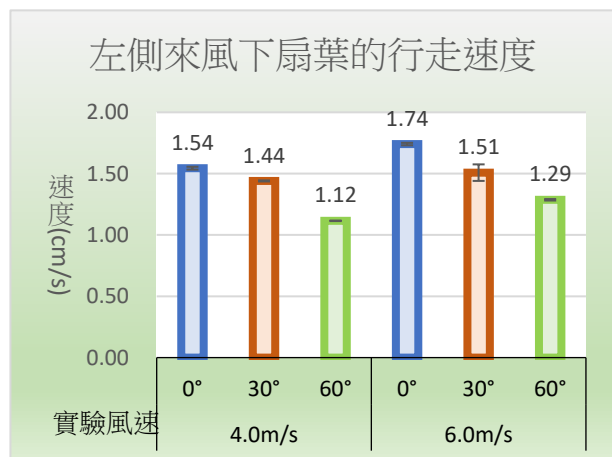
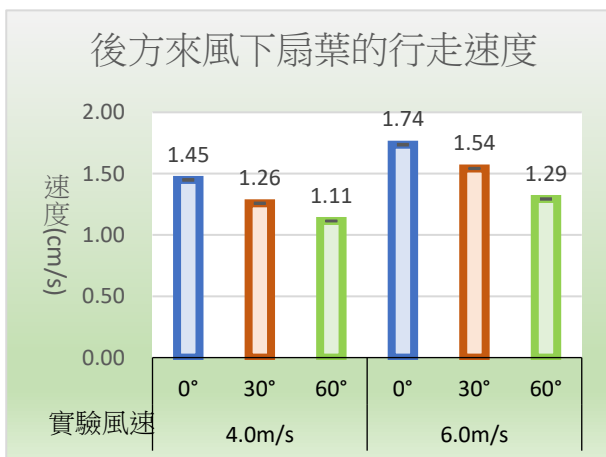
(一) 坡度 0°，慢速齒輪設定：前方與右側來風的行走速度：

風向	前方來風						右側來風					
實驗風速	4.0(m/s)			6.0(m/s)			4.0(m/s)			6.0(m/s)		
風扇角度(°)	0	30	60	0	30	60	0	30	60	0	30	60
平均速度 (cm/s)	0.58	0.50	0.46	0.97	0.57	0.51	0.59	0.50	0.46	0.98	0.57	0.51
標準差	0.001	0.001	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.011	0.000	0.001



(二) 坡度 0°，快速齒輪設定：後方與左側來風的行走速度：

風向	後方來風						左側來風					
實驗風速	4.0(m/s)			6.0(m/s)			4.0(m/s)			6.0(m/s)		
風扇角度(°)	0	30	60	0	30	60	0	30	60	0	30	60
平均速度 (cm/s)	1.45	1.26	1.11	1.74	1.54	1.29	1.54	1.44	1.12	1.74	1.51	1.29
標準差	0.007	0.006	0.004	0.007	0.005	0.006	0.012	0.004	0.002	0.010	0.067	0.006

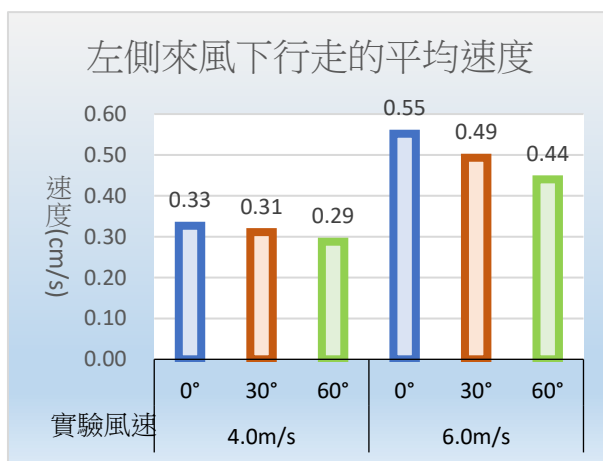
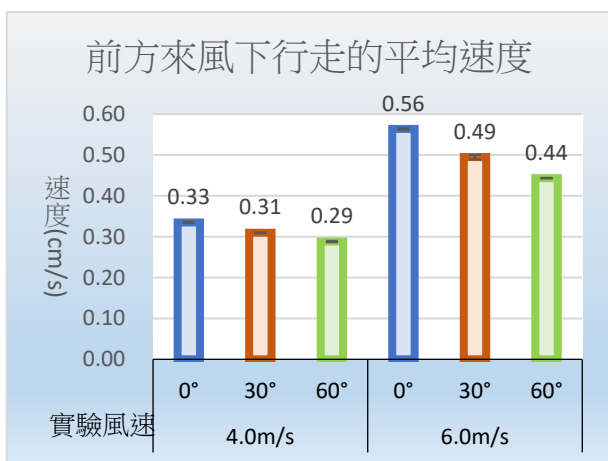


結果：分別在快速與慢速齒輪下，不同風向的來風，測試的結果相當接近。

四、補充實驗四：測量 10° 坡度在不同風向與風速下齒輪設定快慢速的行走速度(3 次平均)

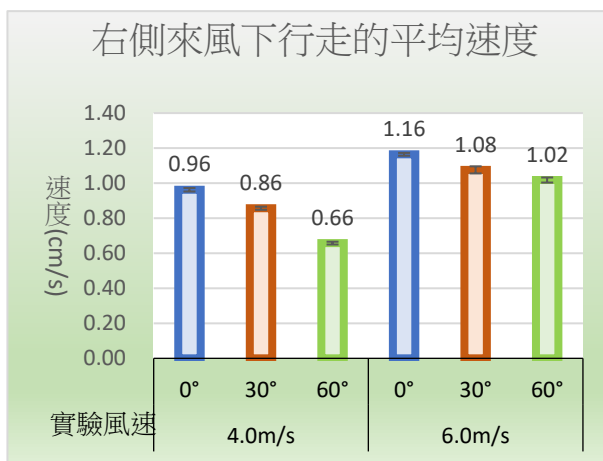
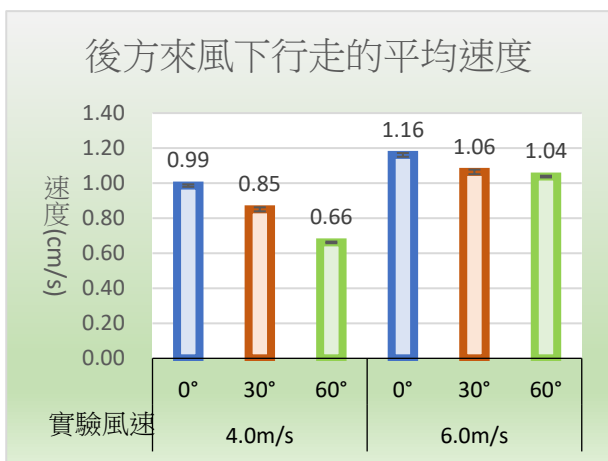
(一) 坡度 10°，慢速齒輪設定：前方與左側來風的行走速度：

風向	前方來風						左側來風					
實驗風速	4.0(m/s)			6.0(m/s)			4.0(m/s)			6.0(m/s)		
風扇角度(°)	0	30	60	0	30	60	0	30	60	0	30	60
平均速度(cm/s)	0.33	0.31	0.29	0.56	0.49	0.44	0.33	0.31	0.29	0.55	0.49	0.44
標準差	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00



(二) 坡度 10°，快速齒輪設定：後方與右側來風的行走速度：

風向	後方來風						右側來風					
實驗風速	4.0(m/s)			6.0(m/s)			4.0(m/s)			6.0(m/s)		
風扇角度(°)	0	30	60	0	30	60	0	30	60	0	30	60
平均速度(cm/s)	0.99	0.85	0.66	1.16	1.06	1.04	0.96	0.86	0.66	1.16	1.08	1.02
標準差	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01

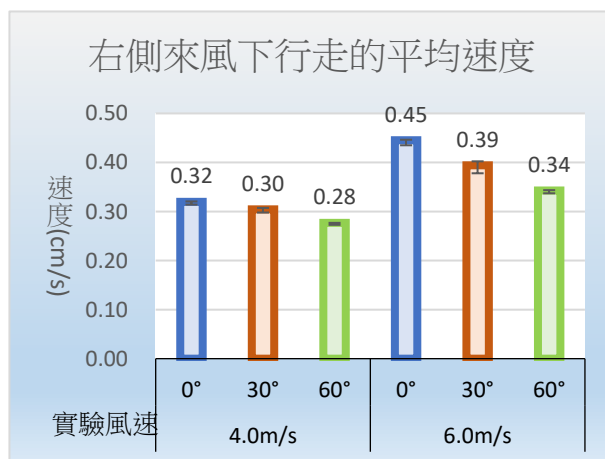
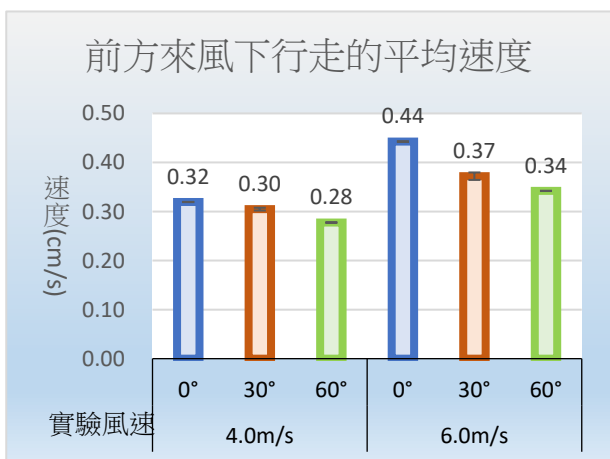


結果：在坡度 10° 下，分別高速與低速齒輪，不同風向的來風，測試的結果相當接近。

五、補充實驗五：測量 20° 坡度在不同風向與風速下齒輪設定快慢速的行走速度(3 次平均)

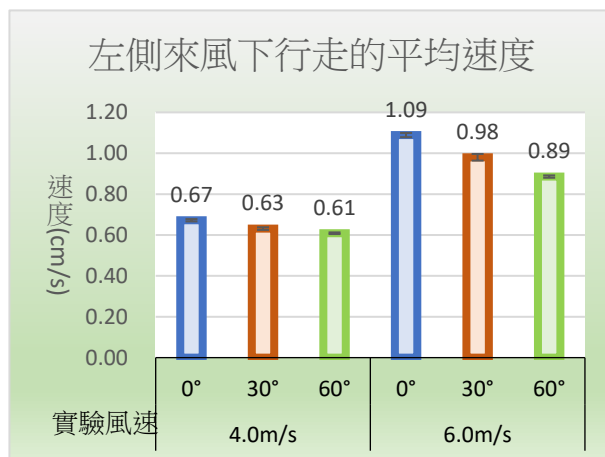
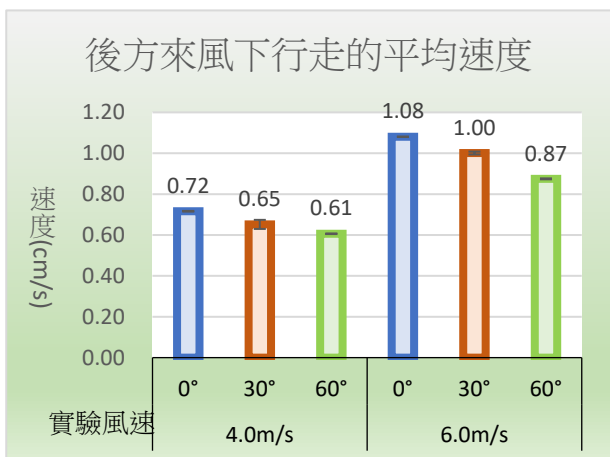
(一) 坡度 20°，慢速齒輪設定：前方與右側來風的行走速度：

風向	前方來風						右側來風					
實驗風速	4.0(m/s)			6.0(m/s)			4.0(m/s)			6.0(m/s)		
風扇角度(°)	0	30	60	0	30	60	0	30	60	0	30	60
平均速度 (cm/s)	0.32	0.30	0.28	0.44	0.37	0.34	0.32	0.30	0.28	0.45	0.39	0.34
標準差	0.000	0.003	0.000	0.001	0.008	0.000	0.001	0.003	0.000	0.001	0.008	0.001



(二) 坡度 20°，快速齒輪設定：後方與左側來風的行走速度：

風向	後方來風						左側來風					
實驗風速	4.0(m/s)			6.0(m/s)			4.0(m/s)			6.0(m/s)		
風扇角度(°)	0	30	60	0	30	60	0	30	60	0	30	60
平均速度 (cm/s)	0.72	0.65	0.61	1.08	1.00	0.87	0.67	0.63	0.61	1.09	0.98	0.89
標準差	0.002	0.022	0.002	0.001	0.007	0.002	0.006	0.006	0.004	0.010	0.016	0.006



結果：在坡度 20° 下，分別高速與低速齒輪，不同風向的來風，測試的結果相當接近。

【評語】 100038

本作品延續過去成果之作品調整改善呈垂直式機組，透過以3D 列印設計製造方式機構本體於塑膠齒輪而形成纜車物件，經由多次改善與不同測試條件，以達優化於低風速下之運動效能。此外，自製類低速風洞，提高風速避免亂流等測試發想與實作。研究成果實驗設計豐富且學理討論深具深度，後續若能持續研究進入放大尺寸之發想、下坡速度之煞車控制、風力機組之架設位置等，想必將具備實現化之可能。