

The report is quite complete, GOOD JOB. Thank you for your hard work.
However, the description of the wind field simulation can be enhanced.
The same goes to the propulsion analysis (Why there is no effect of AOA?)

NTU-ME 2024 Capstone Aero Rider

Mid-term analysis report

Team: 26

Members: 蔡羿成 李國業 林士程 黃鈺棠

remove guidelines in a formal report

Step 1: Provide a detailed exploded view diagram of your vehicle:

1.組合圖與爆炸圖

因版面限制，組合圖與爆炸圖將附在第 2-4 頁。

2.FBD 圖

All the labeled figures/plots should be discussed in the context

本次設計以風力作為主要施力來源，在車體設計時，最需要考虑的部分是風帆以及底盤的受力，其餘部分皆為內力，因此將 FBD 圖分為風帆以及牛眼輪(底盤)兩部分。

(1)風帆 FBD 圖

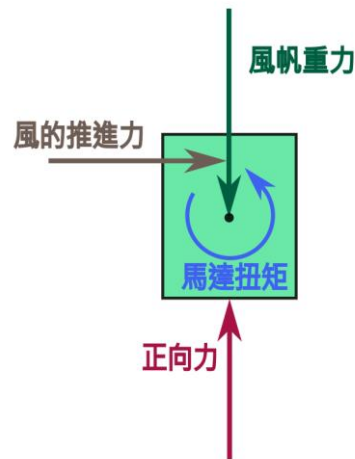


圖 1-2-1、風帆 FBD 圖

(2)牛眼輪(底盤)FBD 圖

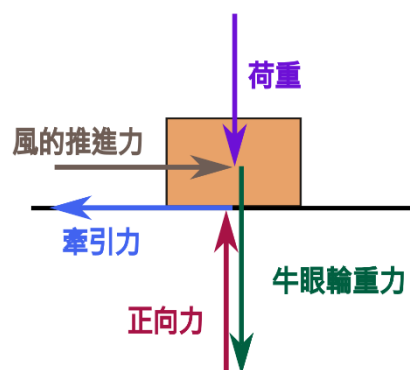


圖 1-2-2、平地牛眼輪 FBD 圖

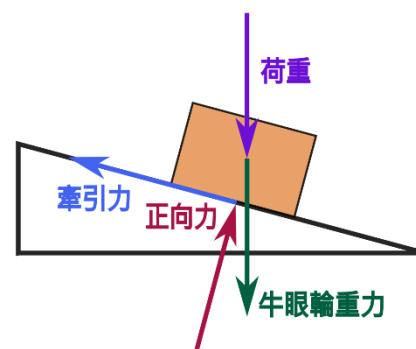
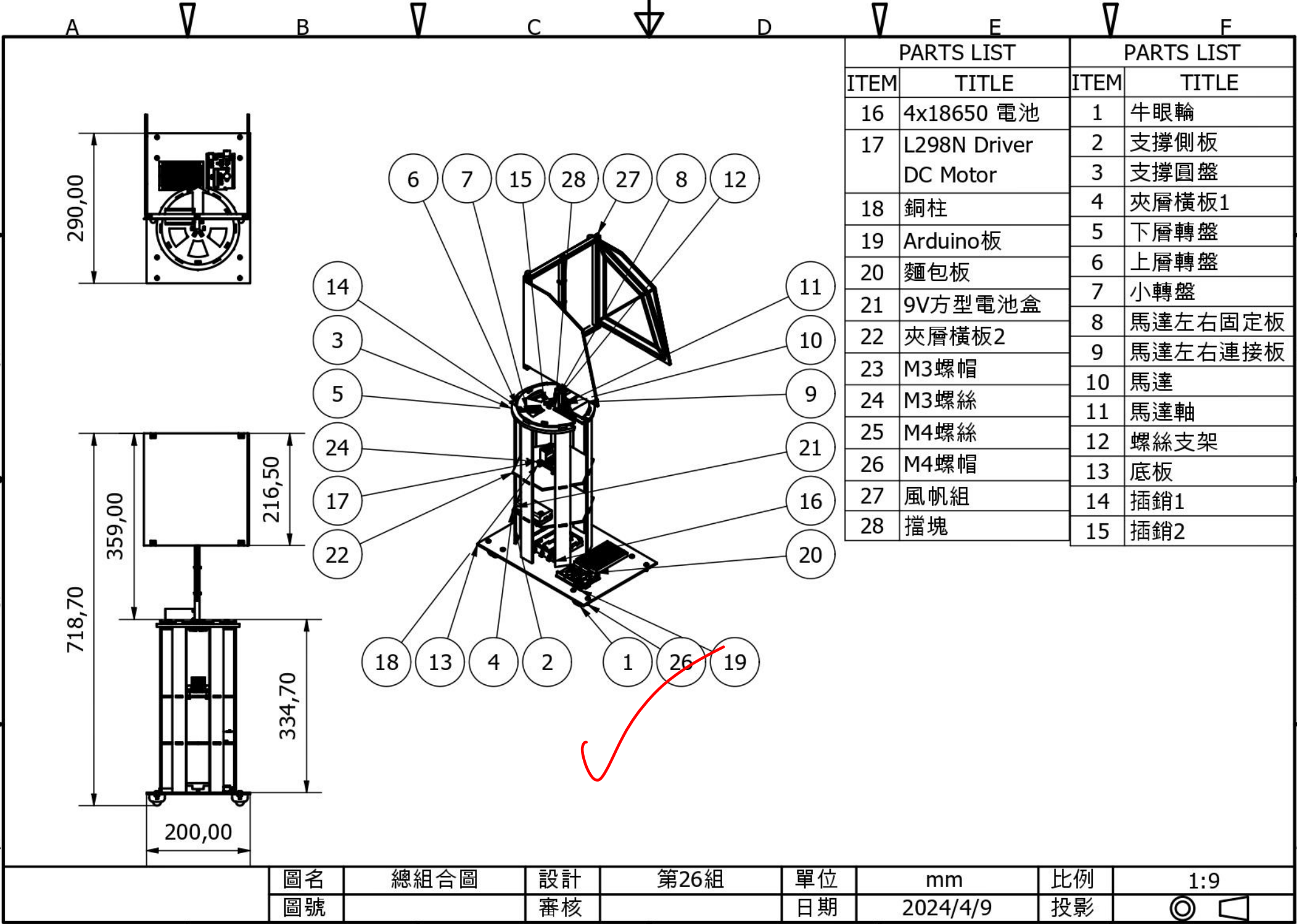


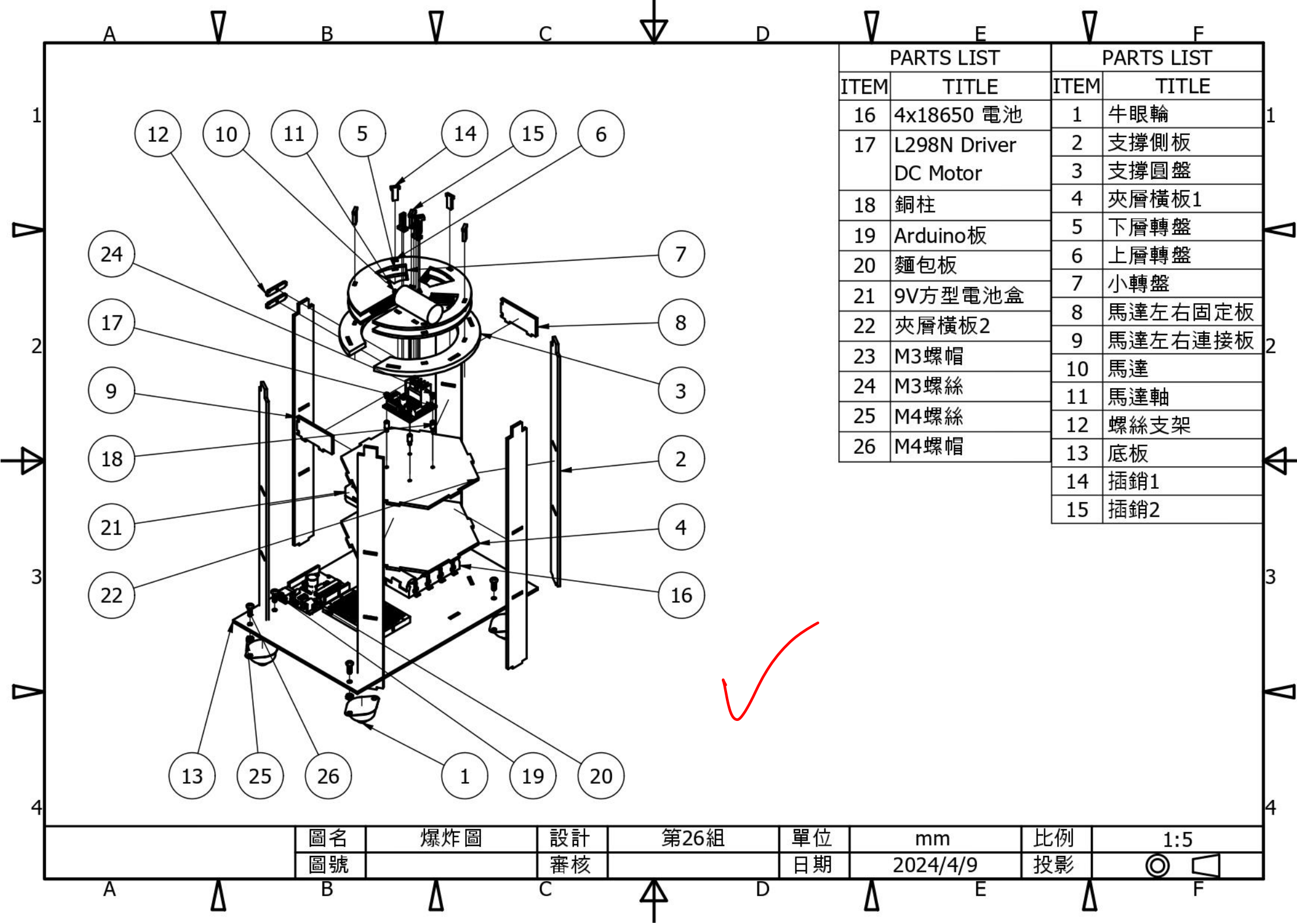
圖 1-2-3、平地牛眼輪 FBD 圖

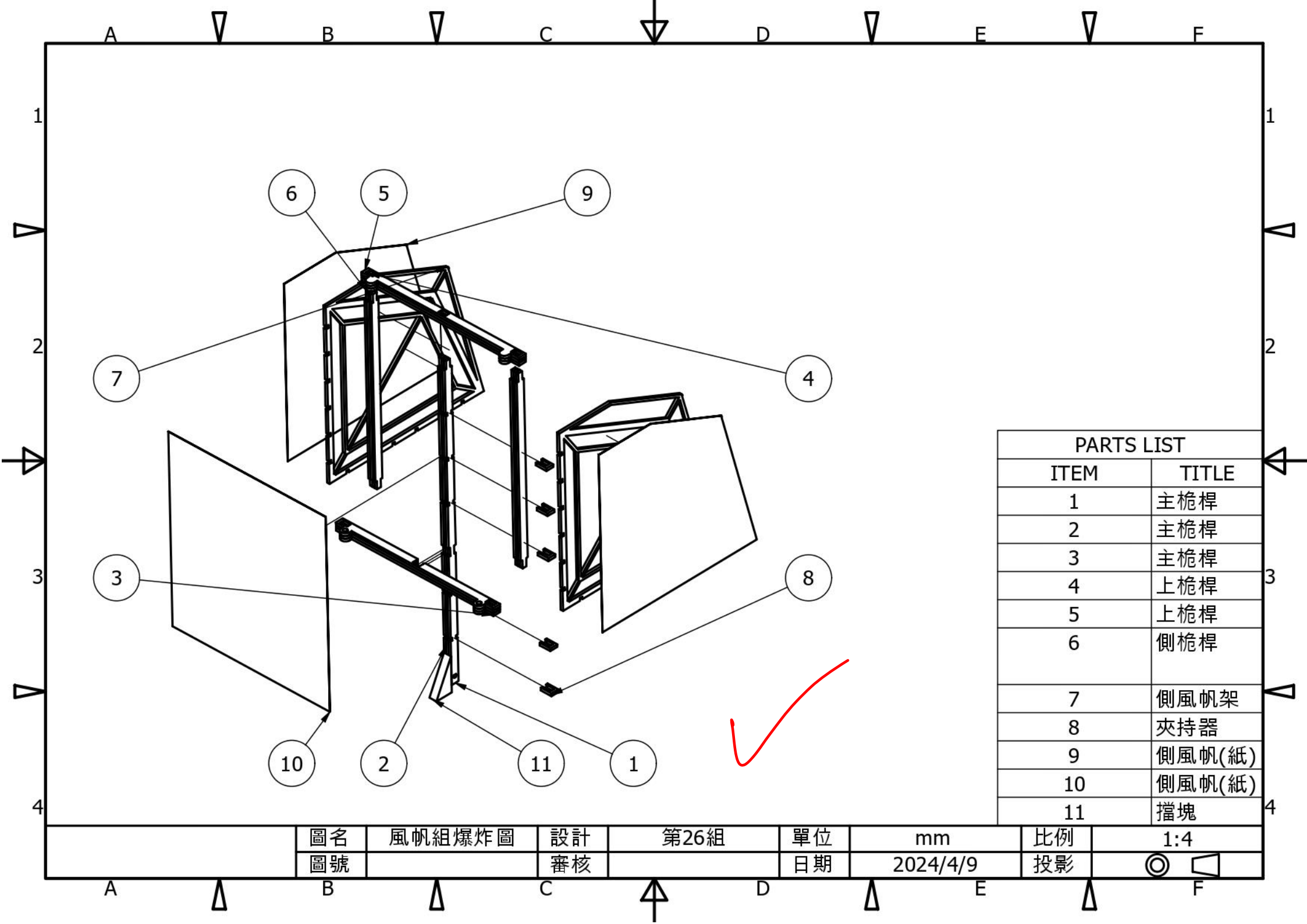
內容清晰有
條理. 在後
明文件時可
加沒在爆炸
火圖的編
号

side or front view?



圖名	總組合圖	設計	第26組	單位	mm	比例	1:9
圖號		審核		日期	2024/4/9	投影	





PARTS LIST	
ITEM	TITLE
1	主桅桿
2	主桅桿
3	主桅桿
4	上桅桿
5	上桅桿
6	側桅桿
7	側風帆架
8	夾持器
9	側風帆(紙)
10	側風帆(紙)
11	擋塊

圖名	風帆組爆炸圖		設計	第26組	單位	mm	比例	1:4
	圖號		審核		日期	2024/4/9	投影	

Step 2: Analysis of Components

1. Mass and Inertia Assessment: Delve into the vehicle's overall mass and the distribution of that mass, as these factors play a crucial role in how the vehicle accelerates and maneuvers.

a. Detail the methodology used to calculate the total mass.

本組使用電子秤測量車體重量，結果為 1277g，即為總質量。

b. Assess how mass is spread throughout the vehicle.

如表 2-1-1 所示，風動車除了密集板所製作的部件，其餘部件皆有量測重量。
本組風帆很高，為了盡量使重心往下，因此本組將較大、較重的部件往下放置，
如圖 2-1-1 所示。

表 2-1-1、各部件重量表

部件	重量(g)	部件	重量(g)
牛眼輪	29	9V 電池盒	64
電池盒	200	銅柱	4
麵包板	37	馬達驅動模組	30
Arduino 板	55	底板	138
馬達	92	風帆組	133

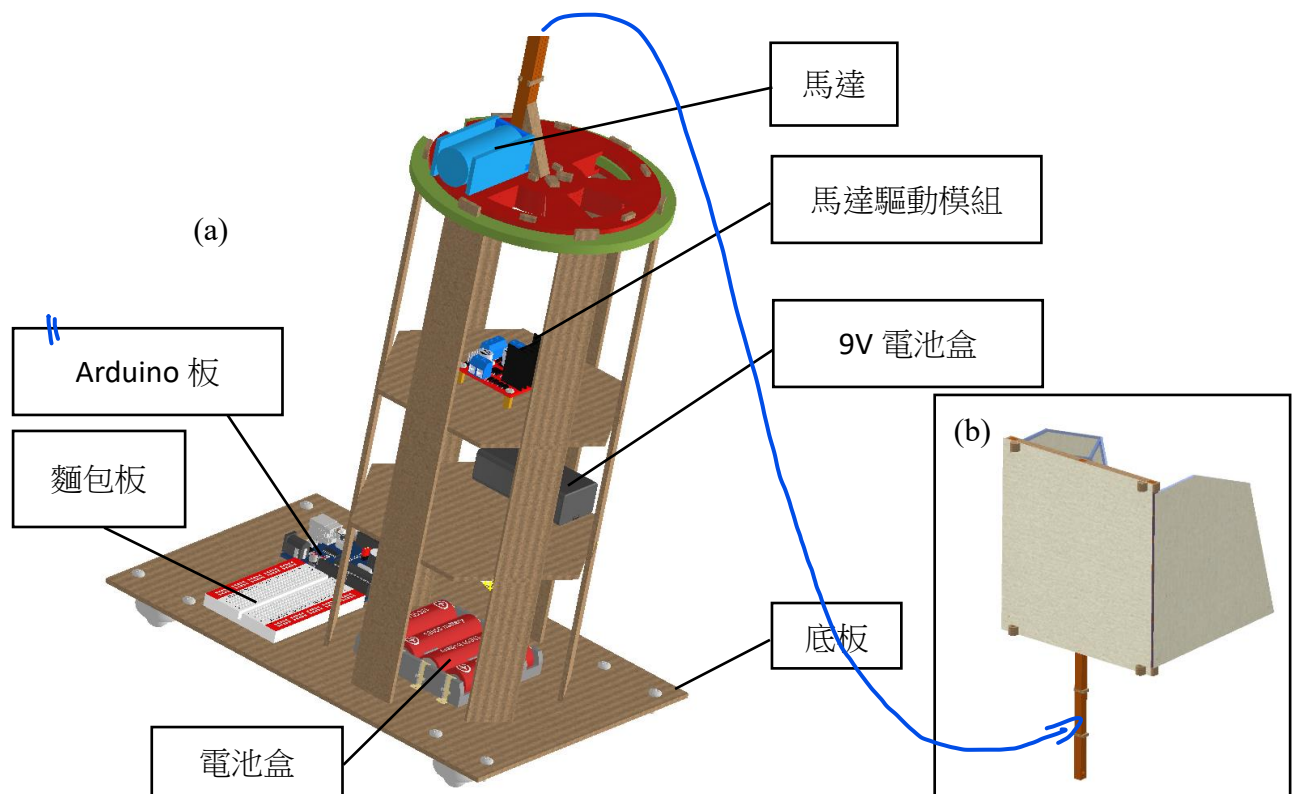


圖 2-1-1、重量配置圖，(a)為底盤與支撐塔，遭截去的部分為(b)風帆

c. Determine the vehicle's center of mass.

由於風帆測試高度對於重力場的影響非常小，所以重心與質心位置應當可視作相等。本組利用電腦計算以及實驗測量兩種方式測量重心。

(1)電腦計算:Autodesk Inventor 內建重心模擬，將不同材料的零件個別配重，於密集板部分則設定密度，經過計算求得重心位置，如圖 2-1-2 所示。

What value?
Why this value?

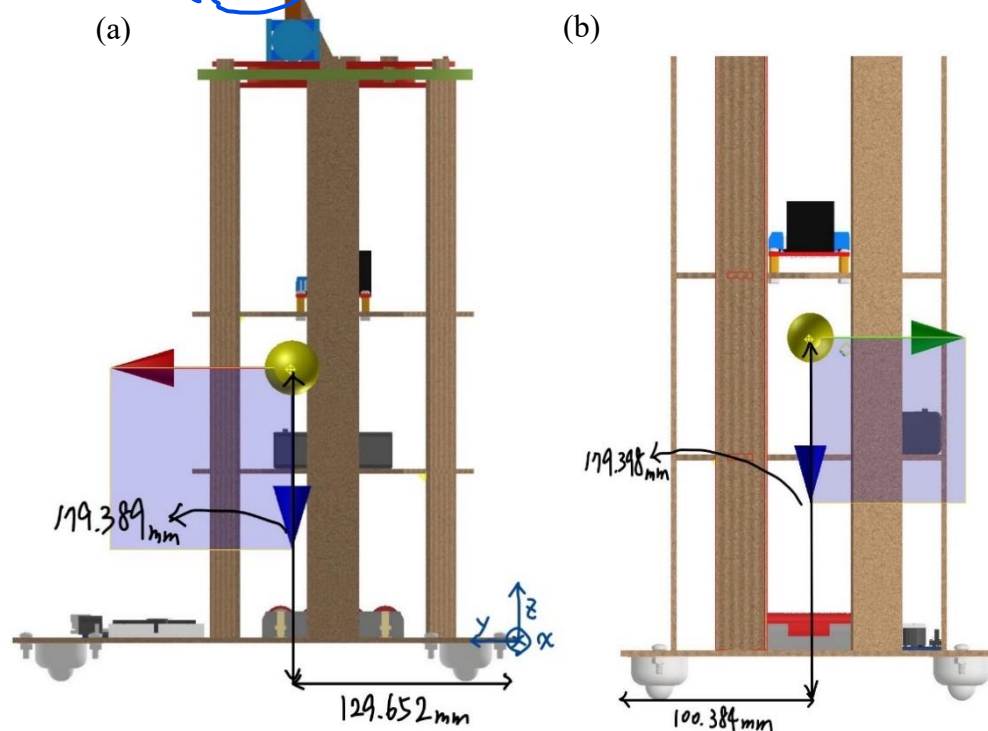


圖 2-1-2、電腦計算的重心位置，(a)為側視圖、(b)為正視圖

good

(2)實驗量測：本組使用懸吊法，如圖 2-1-3 所示，使用細線將車體吊起，並以照片記錄其偏移，由細線垂直至地表的線段即為重心所在的面。重複三次後使用 Inventor 繪製出重心所在的面，三個平面所交的交點即為重心位置，如圖 2-1-4 所示。

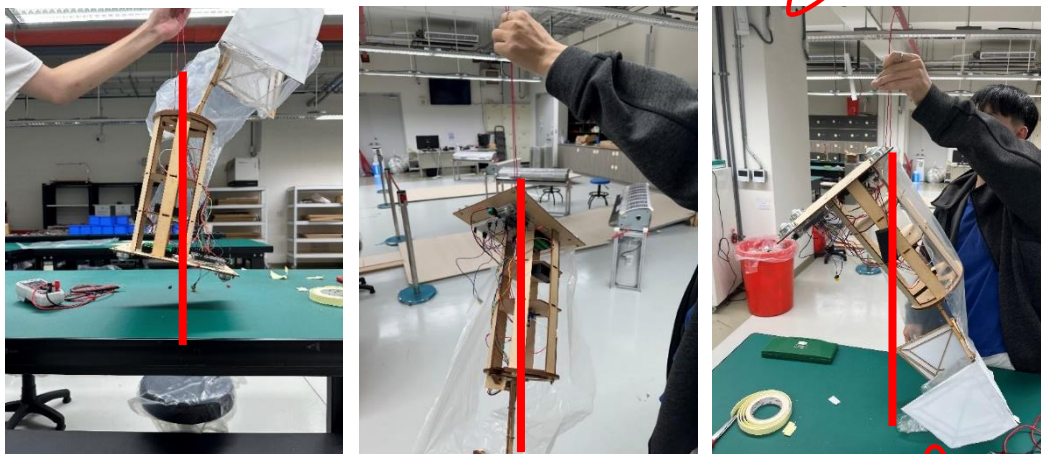


圖 2-1-3、實驗測量的三個面

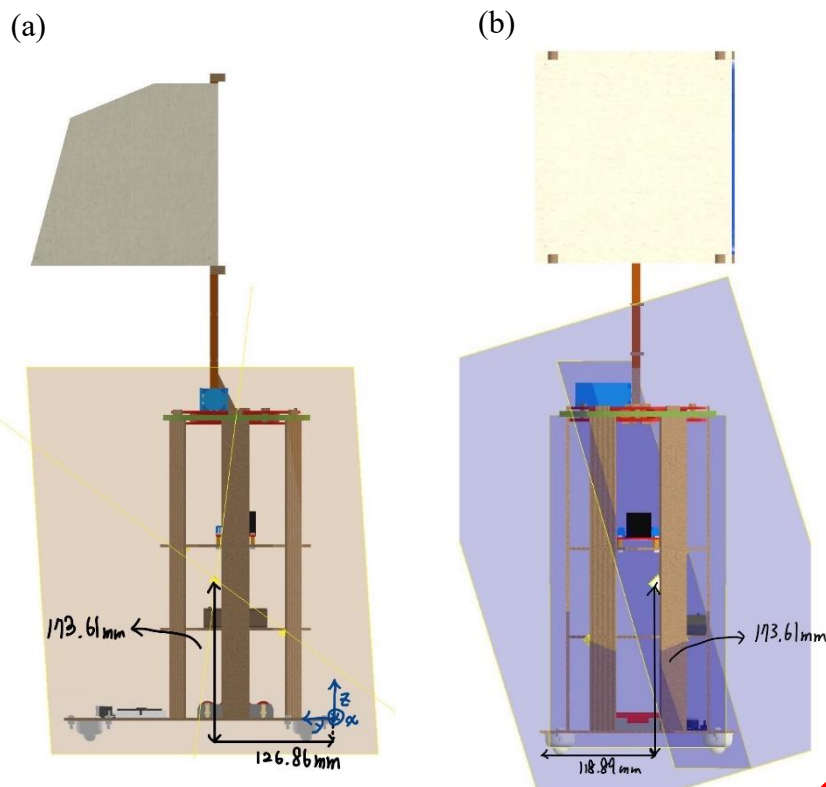


圖 2-1-4、Inventor 產生三平面交點與位置

使用兩種方法的重心位置相差為： $\Delta x = 18.51\text{mm}$ ， $\Delta y = 2.79\text{mm}$ ， $\Delta z = 5.79\text{mm}$ ，透過懸吊法量測重心的位置與 Inventor 模擬的結果在 x 方向差距 1.85cm ，與 inventor 結果相差不大，因此使用 inventor 模擬結果作為重心，在均勻重力場下，質心位置即為重心位置。

2. Wheel Traction Evaluation: Analyze the grip (friction) between the tires and the surface, a critical factor for steering and braking efficiency. Consider how the vehicle's weight, the type of surface it's on, and the tire material affect traction.

a. Outline the approach for assessing wheel traction.

車子從斜坡上滑下來的過程可視為由重力和車輪牽引力的合力所做的加速度運動。本組假設牽引力為滾動摩擦力、只與接觸材料和正向力有關，在斜坡上滑行的過程中則可視為定值，下滑過程便可視為等加速度運動。因此我們選擇量測車頭由起始點滑下到平面與斜面交界處所需的時間，藉由等加速度公式：

$$t = \sqrt{\frac{2h}{a_x}} \quad (2-2-1)$$

其中 t 為所需時間， h 為車頭自起點滑至平面與斜面交界處的距離， a_x 是沿斜坡

方向的加速度。利用式(2-2-1)求得實際加速度，再用式 for what?

$$m \cdot g \cdot \sin(\theta) - F_{\text{traction, bevel}} = ma_x \quad (2-2-2)$$

其中 m 為車體質量、 g 為重力加速度、 θ 為傾角(在此為 5°)。 $g \cdot \sin(\theta)$ 為理想的加速度， F_{traction} 為斜坡上的牽引力。

b. Compute traction values.

本組依照上述實驗方式進行六次量測，結果如表 2-2-1 所示。取其平均3.268s，並量測起點滑至平面與斜面交界處的距離為179cm，代入式(2-2-1)，得實驗加速度為 0.335m/s^2 。再利用式(2-2-2)，得理想加速度為 0.854m/s^2 。兩者相減後乘上車體質量(1.277Kg)，得到斜面上的牽引力大小為 $F_{\text{traction, bevel}} = 0.663\text{N}$

All are straight trajectories?

表 2-2-1、下滑時間表

下滑時間(單位：s)					
3.30	3.40	3.28	3.40	3.11	3.12

根據滾動摩擦公式

$$F = C_{rr}N \quad (2-2-3)$$

其中 F 為滾動阻力(車輪的牽引力)， C_{rr} 是滾動摩擦係數， N 是正向力。車體在斜面上所受到的正向力為 $m \cdot g \cdot \cos(\theta)$ ，因此車輪在水平面上滑行時所受的總牽引力 $F_{\text{traction, flat}}$ 應為 $\frac{0.663}{\cos(5^\circ)} = 0.665\text{N}$ 。

c. Address any uncertainties and propose methods for refining this evaluation.

本組在計算時假設車體滑下的過程中只受重力和牽引力作用，因此只會筆直前進。但實際測試的時候發現車體有時會進行旋轉，代表有一垂直於行進方向的力對牛眼輪進行作用。此現象可能是因牛眼輪為一球體，無法固定行進方向，因此當重心偏移或是球體本身出現缺陷時，可能有側向力出現。若將其作為因素考慮，可以測量偏移出現的角度以其偏移所持續的時間，用角位移的等加速度公式：

$$\theta = \frac{1}{2} \alpha t^2 \quad (2-2-4)$$

其中 θ 為偏移角度， α 為角加速度， t 為持續時間。以上式算出車體的角加速度，並以質心為圓心，質心與車頭的距離設為半徑 r 算出對車體的扭矩，再除以 r 得到沿 θ 方向受到的牽引力。

There are four wheels. How would you modify this analysis?

3. Aerodynamic Force Analysis: Conduct a thorough investigation into the lift and drag forces resulting from interaction with air, considering the vehicle's design in full detail. This includes analyzing the shape, size, and angle of attack (AOA) in relation to desired vehicle dynamics.

a. Identify the specific aerodynamic forces targeted for optimization.

依據期中測驗題目要求，本次需要製作完全以風力作為動力來源的風動車，且在期中測驗不須考慮轉向的問題，因此最簡單的作法，即是利用大面積的風帆捕捉最大量的風，並將風的動能轉換為車體前進的動能。

為了達成上述目標，在設計風帆時，需要考慮到下列幾種方向的力：

- What gives F_{main} ?
1. 沿賽道方向的力，此方向的力為**最主要的推進力**，如圖 2-3-1 中的 F_{main} 。
 2. 垂直於賽道方向的力，此方向的力會使風動車轉向。因左右各有一個風力來源，因此雖然可以用合力計算，仍然以兩個力 (F_L 、 F_R) 表示。
 3. 與重力方向平行的力，此力會增加或減輕車體重量，以 F_v 表示。

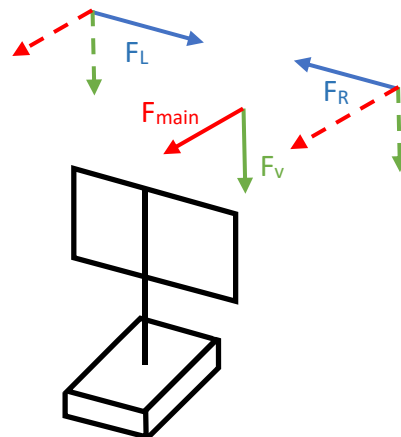


圖 2-3-1、風給予風動車的力

風動車在這樣的風場中，將有幾種不同的行動模式，如圖 2-3-2 所示：

1. F_L 、 F_R 的力相互抵消，風動車沿賽道筆直地向前，為最希望達到的目標
2. 風動車在前進時轉向，導致受 F_L 、 F_R 的力不同，而以一定角度往前
3. 風動車在前進時轉向，導致受 F_L 、 F_R 的力不同，偏移後因風量減少而停在某一定點

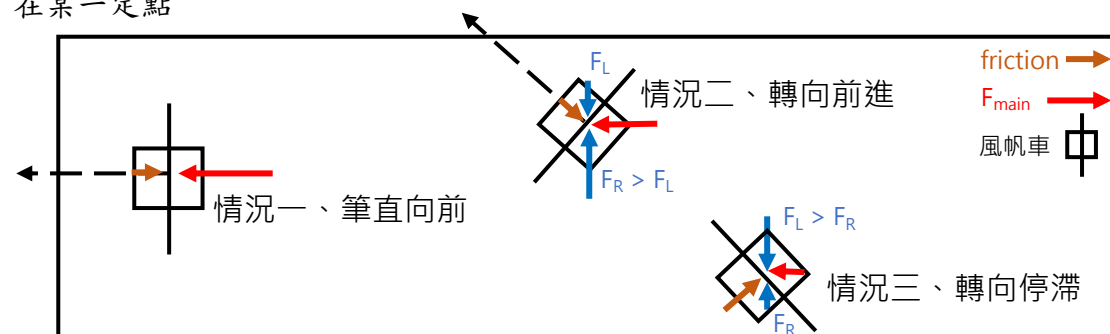


圖 2-3-2、三種不同的可能情況

Top view??

Please provide details of the measurement/simulation

由上圖可知，影響風動車前進方向的力為 F_L 、 F_R 以及 F_{main} 三力合力與摩擦力的比值。根據量測以及模擬結果，本組發現其中測驗風力的垂直分力(F_v)甚少，如圖 2-3-3 所示，因此忽略垂直分力，只考慮水平方向(F_L 、 F_R 、 F_{main})的合力在風帆上的作用力，即本次最重要的力為風的阻力。

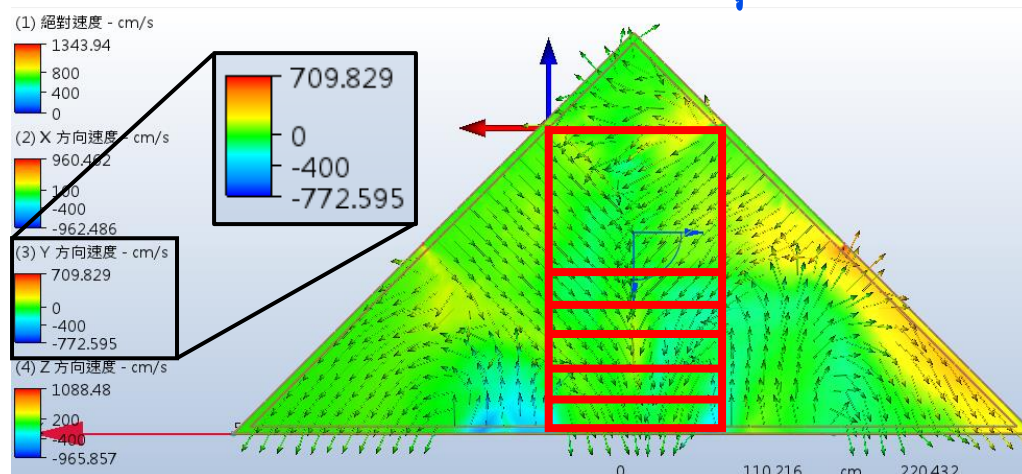


圖 2-3-3、由CFD 模擬、與出風口等高的垂直風速，與垂直受力 \vec{F}_v 有關，紅線處為賽道。可以看見全區域幾乎為綠色，風速接近 0。

又在本次的測驗中，我們最期望以情況一的方式通過比賽，但下滑過程中不免會有情況二的情形發生，因此在設計時也需要考慮這樣的狀況，以獲得最大的風力。

B. Justify the vehicle's design configuration in the context of achieving the desired aerodynamic forces.

本次測驗中，出風口被設置在離地 60 公分處，因此勢必要設計可以抬升的風帆，而風帆大小會因規則限制、抬升機構設計與抬升機構能承受力矩所拘束，因此本組首先以 $20\text{cm} \times 20\text{cm}$ 的風帆面積、最高 55cm 為設計進行實驗，示意圖如圖 2-3-4 所示。

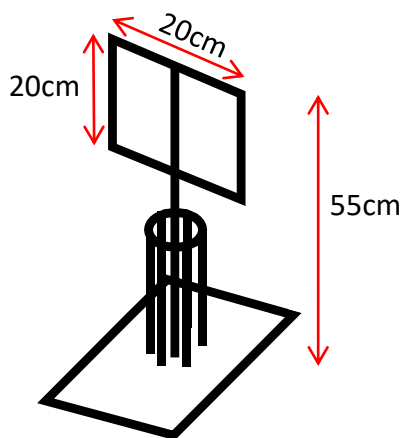


圖 2-3-4、測試示意圖

實驗結果顯示這樣的設計不足以讓車體移動，本組認為可能的原因有：第一、最高高度不足以使風帆接觸到主要風力區，第二、風帆大小不夠大，無法獲得更多風力，第三、風動車轉向，使得風帆受力面積減少。

為了計算結果以確認原因，本組使用 CFD 對整體風場分析，並輔以實際量測比對，CFD 參數如表 2-3-1 所示，結果如圖 2-3-5 所示，赛道上的絕對風速落在 3-5m/s 左右。x 方向(F_L 、 F_R 所在方向)風速越靠近滿分線時量值越小，如圖 2-3-5(b)；z 方向(F_{main} 方向)風速較為平均，約在 2m/s，如圖 2-3-5(c)，本組實際量測 z 方向的風速，發現在赛道中線風速約落在 1.5 – 1.9m/s、隨出風口距離拉長有略微降低的趨勢，與 CFD 模擬結果相似。

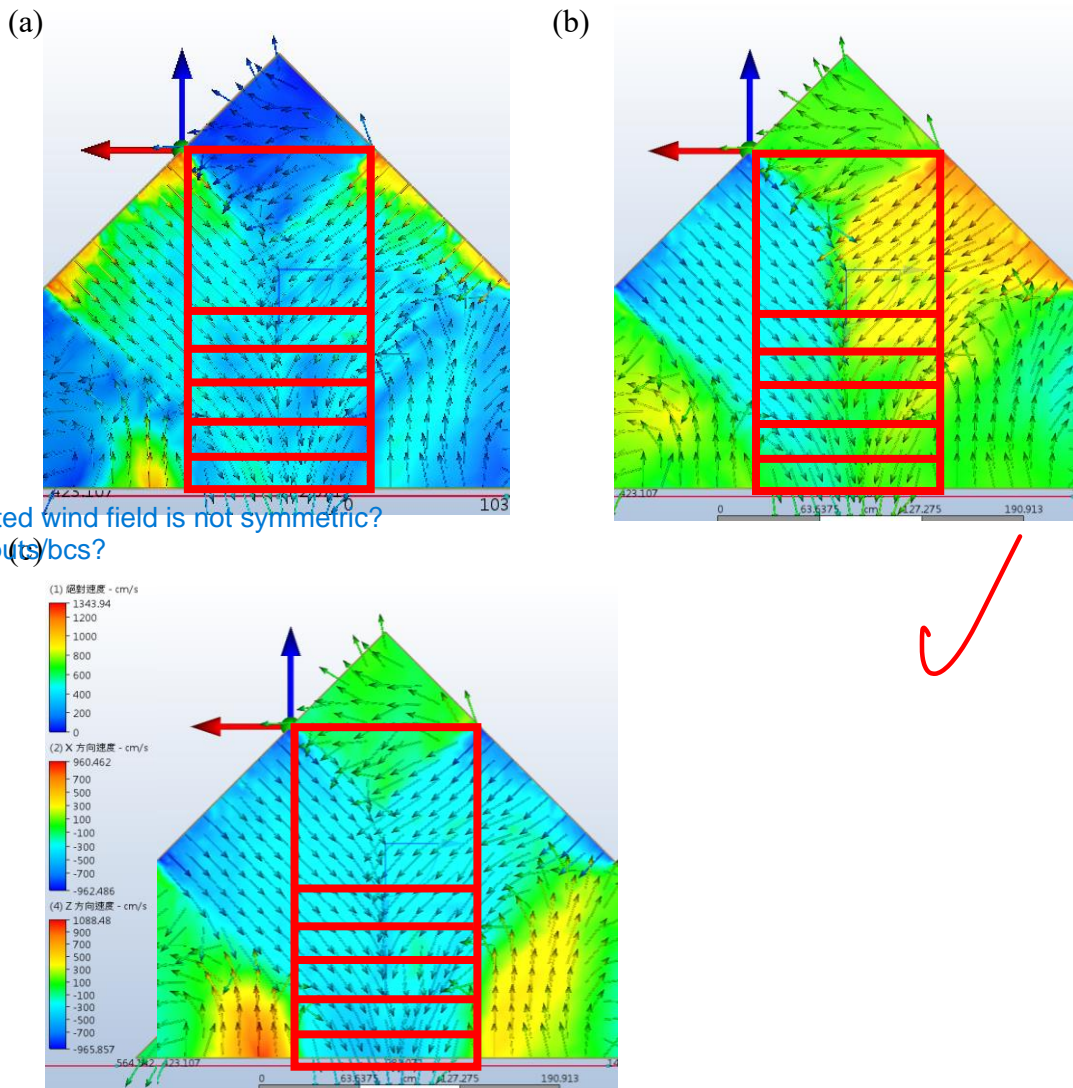


圖 2-3-5、CFD 模擬圖，(a)為絕對速度、(b)x 方向速度、(c)z 方向速度

以上述結果計算，在整面風帆皆在風場中時，最大受力可由式(2-3-1)計算：

$$F = C_D \times \frac{\rho A V^2}{2} \quad (2-3-1)$$

其中 F 為總受力、 C_D 為阻力係數、A 為風帆面積(車體本身高度過低，即使有受

what location? AOA??
why this Cd?
why this max. speed but not the measured value

到風力也應可忽略不計)、 ρ 為空氣密度(1.225Kg/m^3)、 V 為風速。帶入阻力係數 1.9，最大風速 5m/s ，風帆面積 $0.2 \times 0.2\text{m}^2$ ，得到理想受力 1.16N ，此數據大於 step2 計算的牽引力 0.665N ，理論上可使風動車前進。推測失敗的主因為風帆不夠高以及風帆會因轉向使受力面積減少，即圖 2-3-2 中的情況三。

因此，我們將風帆重新設計：首先將面積加高、加大，新的風帆為 $20\text{cm} \times 21.6\text{cm}$ ，最高離地 71.8cm ，使風帆能夠最大限度受到主要風力。其次，為了防止圖 2-3-2 中情況三(轉向停滯)的狀況，因此改用三面風帆圍繞，讓風動車無論在哪一種角度皆可以捕獲風力，且三面風帆連接處有一定彈性，若在半路停下，也可以用風力將風帆吹開，增加受力面積。最後在風帆與底盤之間加貼風帆，讓車體下部也能夠受力，示意圖如圖 2-3-6 所示。

Estimation of the total wind force?

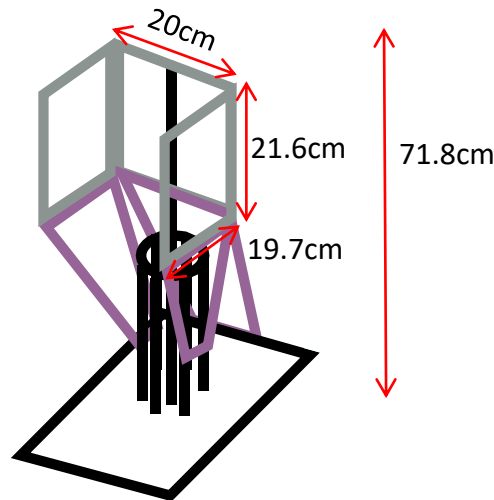


圖 2-3-6、第二版風帆設計

C. Confirm the effectiveness of the design with respect to variables such as wind and vehicle speed

依據本組的設計，在最理想的情況下，上方風帆受力面積可以達到 $28.1\text{cm} \times 21.6\text{cm}$ ，以式(2-3-1)計算，可得理想受力為 1.766N ，設定加成係數 1.25 以估計加入下部的風帆受力(此係數將在期中後更詳細計算)，理想受力可達到 2.21N 。若以最不理想狀況計算，則受力為 0.565N ，雖然小於牽引力 0.665N ，但因風帆具有彈性，因此風帆也會在停滯期間張的更大，最終脫離停滯狀態。

4. Steering and Unfolding Mechanism Overview: Present a detailed explanation of how your steering or unfolding mechanism can harness wind energy to aid in vehicle navigation.

a. Showcase the mechanism's design and operational principles.

展開機構如圖 2-4-1 所示，由馬達、桅杆及風帆組成，馬達的功能為提供桅杆轉動所需的動力，風帆的功能則為增加受力面積。

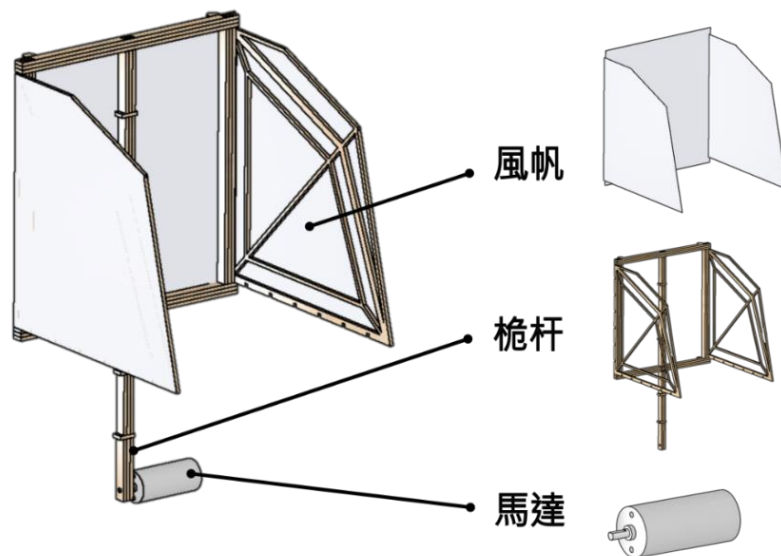


圖 2-4-1、展開機構

該機構的運作原理是馬達會將桅杆帶動到最高點，再透過風帆盡可能地汲取風的推力，因為馬達的角度控制是機構能否成功的關鍵，所以本組將該馬達搭配微控制器、編碼器與馬達驅動模組組成 PID 負回饋控制系統，如圖 2-4-2 所示，來精確地控制馬達軸旋轉到目標角度。

運作時，與馬達軸連接的編碼器將不斷向微控制器發送資料，微控制器再以該資料推得馬達軸的當下角度，並藉由比較其與目標角度的差和 k_p 、 k_i 與 k_d 的值來輸出 PWM 與轉向訊號給馬達驅動模組，透過其來供給馬達足夠的電壓和調整當下的轉速和轉向，最終，讓馬達軸旋轉到目標角度。 ✓

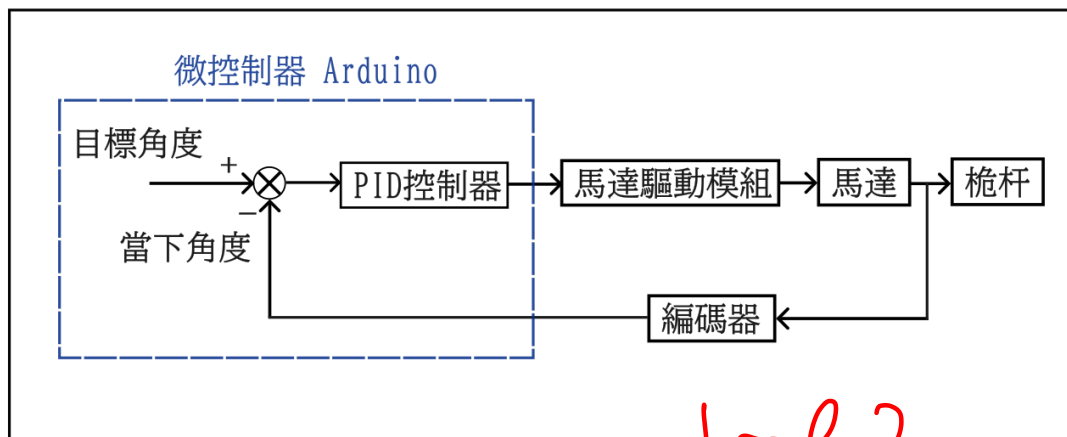


圖 2-4-2、Block diagram

在初期將微控制器接上電腦測試無負荷的狀況時，上述的 PID 負回饋控制系統在將 k_p 設定為 1.45 的情況下，成功地在 0.6 秒內將馬達旋轉了 90 度，並穩定了下來，如圖 2-4-3 所示。

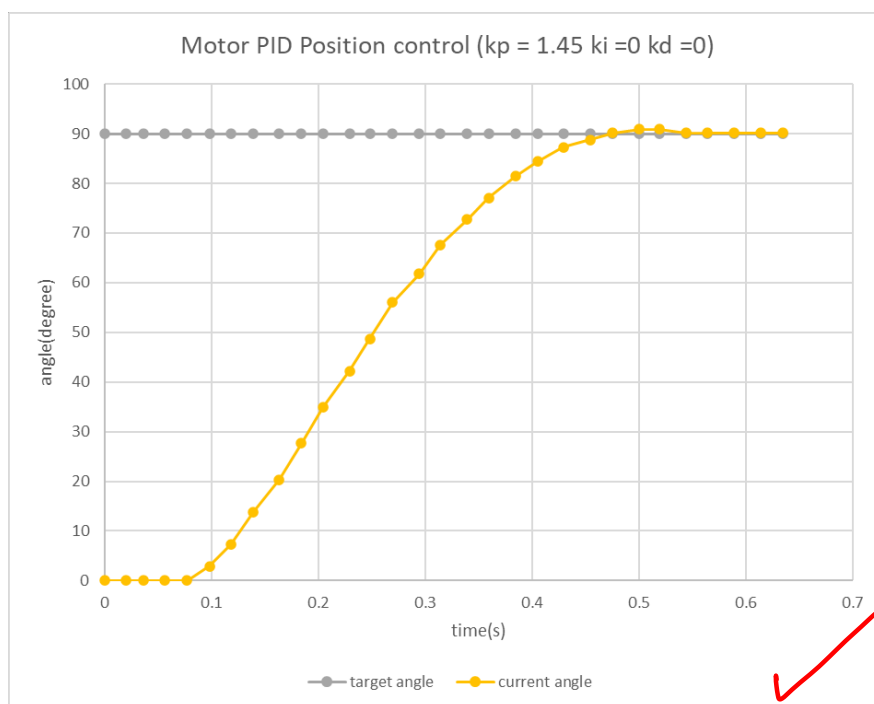


圖 2-4-3、馬達 PID 角度控制

而實際情況，馬達最後會在會 k_p 為 2.45、 k_i 與 k_d 皆為 0 的情況順利帶動桅杆順時針轉動 160 度，讓桅杆升到最高點並與地面保持垂直，如圖 2-4-4 及圖 2-4-5 所示。

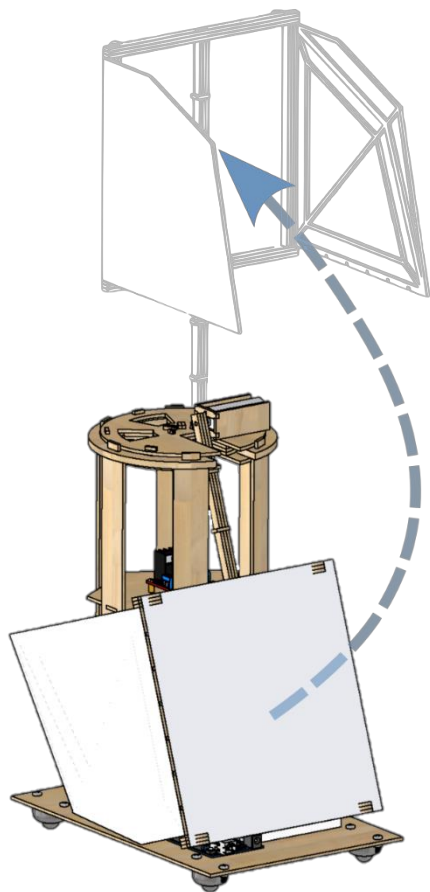


圖 2-4-4、展開過程示意圖

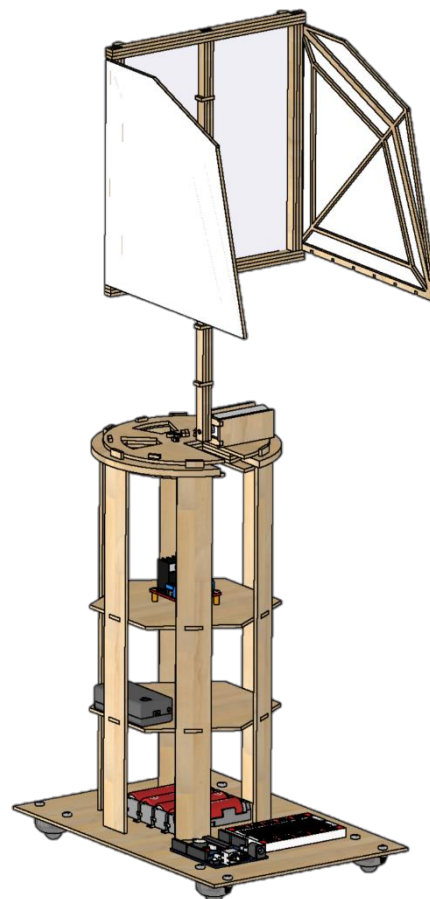


圖 2-4-5、完整展開圖

b. Clarify how the mechanism contributes to vehicle control.

該展開機構會將風帆升到約 50 到 70 公分的高度，因而可阻攔約在 60 公分處的風，周圍的空氣分子也因此在此風帆的受風面產生高壓區，風帆的背風面產生低壓區，兩區的壓力差與風帆面積積分後算出的推力，將推動風帆帶動車子往風帆的背風面前進，因而能控制車子的前後方向。

c. Evaluate the mechanism's current performance and suggest potential enhancements or modifications for the future.

該機構的表現能分為風帆效能和馬達控制兩個部分評估。

風帆部分，在馬達有將桅杆上升到最高點的情況下，每次測試階段都能跑到終點，但所花時間仍然不太穩定，主因是若車子因牛眼輪或風所造成的推力發生偏轉，就只能靠風帆左右兩側的其中一側得到推力，但由於其面積相對中間的帆來得小，而造成須花較多時間來前進，因而風帆效能的部分仍有待加強。

要改善上述的風帆效能，未來可考慮用伺服馬達張開左右兩側的風帆來增加受力表面積，並使用陀螺儀偵測車子偏轉角度，再根據偏轉程度來調整伺服馬達的角度，使車體能再被風的推力轉正，以改善偏轉問題，並讓風帆效能有進一步的提升。

馬達部分，雖然每次放下車子的位置不同都會造成操作環境的稍許變動，

但在調整完 PID 參數後，幾乎測試時都能以肉眼觀察到桅杆有上升到最高點，因而馬達控制的部分在現階段仍不用太擔心。

但考慮到未來要增加帆及伺服馬達的情況下， k_p 勢必只能調大，若有觀察到轉動時有過衝、穩態誤差過大或震盪情況發生時，將根據表 2-4-1 調整 k_i 與 k_d 來使馬達轉動情形得到改善。此外，由於無另外添購無線通訊的電子元件，目前仍只能在接電腦的情況下，測得馬達的當前角度與目標角度，因而可在期末測驗前考慮加裝通訊設備或其他方法來測得馬達在賽道上的實際轉角。

表 2-4-1 PID 參數調整方法表

調整方式	Rise time	Overshoot	Settling time	Steady state error	Stability
k_p 增加	減少	增加	小幅增加	減少	變差
k_i 增加	小幅減少	增加	增加	大幅減少	變差
k_d 增加	小幅減少	減少	減少	變動不大	便好

Step 3: Vehicle Dynamics Integration

Synthesize the previously discussed elements to formulate a dynamic equation for the Aero Rider.

1. Craft an Equation of Motion (in vector or abstract form):
 - a. Clearly define each variable, ensuring dimensional consistency across all terms.
 - b. Provide a detailed explanation for each component of the equation.

運動方程式可以分為斜坡上的方程式以及平地上的方程式：

(1) 斜坡上的方程式：

$$m \cdot \vec{g} \cdot \sin(\theta) - \vec{F}_{\text{traction,bevel}} = m\vec{a}_{x,\text{bevel}} \quad (3-1-1)$$

$$\vec{F}_{\text{traction,bevel}} = C_{rr}N = C_{rr} \cdot m \cdot g \cdot \cos(\theta) \quad (3-1-2)$$

其中

- (a) m 為車體質量，單位為 Kg
- (b) \vec{g} 為重力加速度，單位為 m/s^2
- (c) θ 為傾角，(2)-(3) 組合即為理想的加速度 $g \cdot \sin(\theta)$
- (d) $\vec{F}_{\text{traction,bevel}}$ 為斜坡上的牽引力，單位為 N
- (e) $\vec{a}_{x,\text{bevel}}$ 為沿斜坡方向加速度，單位為 m/s^2
- (f) C_{rr} 為滾動摩擦係數

值得注意的是式(3-1-1)即為式(2-2-2)，式(3-1-2)即為式(2-2-3)。

(2) 平面上的方程式：

$$\vec{F}_{\text{wind}} + \vec{F}_{\text{traction,flat}} = m\vec{a}_{x,\text{flat}} \quad (3-1-3)$$

$$\vec{F}_{\text{traction,flat}} = mg \quad (3-1-4)$$

其中

- (a) \vec{F}_{wind} 為風給與風動車的力，單位為 N
- (b) $\vec{F}_{\text{traction,flat}}$ 為平面上的牽引力，單位為 N
- (c) $\vec{a}_{x,\text{flat}}$ 為往終點方向加速度，單位為 m/s^2

c. Outline the underlying assumptions made in the formulation.

在這些方程式中，我們假設：

- (1) 車體本身只受重力、牽引力和風力影響
- (2) 風帆所承受到的風力一直為最大值且不會變化
- (3) 車體筆直前行，不會旋轉
- (4) 風帆在受風區時維持垂直於水平面

2. Assess the Validity of Your Equations (through experimental measurements, numerical analyses, etc.):

a. Outline the methodology for using the equation to predict the Aero Rider's dynamics.

上述四條公式皆是以牛頓第二定律為基礎。在式(3-1-1)中， $m \cdot g \cdot \sin(\theta)$ 為沿斜坡方向下的加速度，減去斜坡上的牽引力 $F_{\text{traction,bevel}}$ ，即為實際作用力 ma_x 。在(3-1-2)中，詳細說明了 $F_{\text{traction,bevel}}$ 即是以滾動摩擦的方式計算，只需要注意正向力為 $m \cdot g \cdot \cos(\theta)$ 。在(3-1-3)中， F_{wind} 為風給與風動車的力，減去平面上的牽引力 $F_{\text{traction,flat}}$ ，即是作用力 ma_x 。(3-1-4)與(3-1-2)雷同，只需要注意正向力為 mg 。

以上述四式計算可得風動車在斜面以及在平面上的加速度，並可做進一步處理獲得速度、時間等資訊。

b. Describe the process for deriving predictions from the equation.

將 step2 中所計算或量測的數據代入式(3-1-1)、式(3-1-2)，即可得知加速度：

$$1.277 \cdot 9.81 \cdot \sin(5^\circ) - \vec{F}_{\text{traction,bevel}} = 1.277\vec{a}_x \quad (3-2-1)$$

$$\vec{F}_{\text{traction,bevel}} = 0.663 \quad (3-2-2)$$

加速度 $\vec{a}_{x,\text{bevel}}$ 為 0.335m/s^2 ，再帶入式(2-2-1)：

$$t = \sqrt{\frac{2h}{a_x}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1.79}{0.335}} \quad (2-2-1)$$

得到滑行時間 $t_{\text{bevel}} = 3.278\text{s}$ ，再使用公式：

$$v = a_x t \cdot \cos(\theta) = 0.335 \cdot 3.278 \cdot \cos(5) \quad (3-2-3)$$

得終端速度為 $v_{\text{bevel}} = 1.094\text{m/s}$ 。將風給予的力設為最理想與最不理想的平均 ($\vec{F}_{\text{wind}} = 1.387\text{N}$) 利用相同方式計算，得到從速度為零自平板上起跑到終點的加速度 $\vec{a}_{x,\text{flat}}$ 為 0.565m/s^2 ，滑行時間 $t_{\text{flat}} = 2.661\text{s}$ ，終端速度為 $v_{\text{flat}} = 1.503\text{m/s}$ 。

c. Benchmark these predictions against real-world behaviors or outcomes.

實驗結果如表 3-2-1 所示，在實驗時，本組發現滑行至平面時，風動車仍會停頓，持續約 4 秒。由於未記錄在斜坡上的時長，因此只比較從暫停處到終點用時。相比於計算數據 2.661 秒，實驗數據大約為兩倍長，推測為風帆的效能估計太過樂觀所致。

表 3-2-1、各項實驗資料

實驗	總時長(s)	暫停時長(s)	暫停時與終點的距離(m)	暫停處到終點用時(s)
1	9.24	3.99	1.32	5.25
2	9.14	3.82	1.35	5.32
3	9.06	4.03	1.2	5.03
4	9.27	4.23	1.23	5.04
5	9	4.1	1.17	4.9
6	8.77	4.03	1.06	4.74
平均	9.08	4.0	1.22	5.05

3. Suggest Improvements for the Modeling/Testing Approach:

a. Reflect on any discrepancies observed between the predictions and actual outcomes.

在實際試驗中，我們發現進入流場的車子並不會隨著風力的推動筆直往前走，而是會停在原地不動一段時間，然後才被風力推動，而前進所耗費的時間也比計算來的慢很多。此外，在由斜坡道平面的過程中，也時常出現轉向的情況發生，這也是在建立運動方程式時未討論到的部分。

b. Speculate on potential sources of error or misalignment in the model or testing process.

我們認為這樣的現象可能來自於對風帆受力的預期過於樂觀，由於風帆會隨著車體轉向而改變角度，在以不同角度面對風機時車體會有不同的速度，原本的理想風推力 2.21N 是由理想受力 1.766N 乘上係數 1.25 所得，根據實際情況計算，加速度的平均值為 0.096m/s^2 ，得出的實際推力應為 0.785N，代表我們的風帆並未能擷取到大部分的風力。此外，我們沒有將平面分成未進入風場以及進入風場兩部分討論，使得在剛進入平面而尚未進入風場的區段也被計算成有進入風場的情況，使得用時被低估。

c. Propose strategies to address and rectify these discrepancies for more accurate future modeling.

鑒於上述討論，本組認為需要對以下幾點改善、建立更準確的評估模式：

- (1) 除了中線上的風場量測外，本組往後將量測更多個數據點，以求精準
- (2) 運動方程式應當加入轉角對車體運動、風帆受力的影響
- (3) 平面區段應更細分為未進入風場以即進入風場兩區
- (4) 風帆的加成係數需要準確量測或利用(1)中獲得更精確的數據計算

Step 4: Summary and Conclusions

本組利用塔加上抬升風帆的方式將風帆抬至風速最大的區間之中，利用風力驅動車體移動。風帆以 U 字形設計，確保無論車體如何轉向，風帆皆能夠接收風力。在沒有 U 字形設計時，車體無法前進；加入 U 字形設計後。在六次的實驗中，平均耗時 9.08 秒完成一趟測試；在一次的模擬正式測驗中，花費 2 分 06 秒完成測試且每次均達 100 分線，證實這項設計的成效以及其必要性。

本組的設計優點在於做動機構簡單、方便維修，且設計轉盤，為以後的轉向保留擴充空間，零件雖較多但體積小，重製、替換成本較低等。缺點在於：在最極端的情況下仍有可能使車體無法前進，許多需要旋轉的部件會因磨損而需要替換等。解決方案為將易磨損零件的材質由合板改為 3D 列印之塑膠，增加強度，風帆設計更好的展開模式，加大受力面積。

對於期末的測試，本組在風帆與機構部分事先保留轉向設計－實際上此時便可以轉向，但本組有使用插銷固定轉盤－因此在轉向上只需加入機電元件便可，如圖 4-1 所示。風帆也預留展開設計，可以進一步將最大受力面積擴張為現在的三倍，如圖 4-2 所示。位置資訊則預計由陀螺儀獲得。

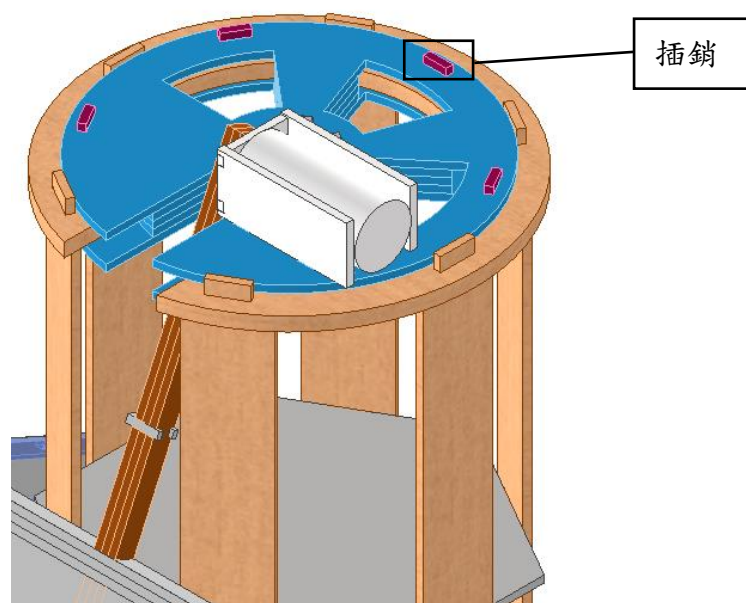


圖 4-1、轉盤設計，藍色為轉盤，深紅色為插銷

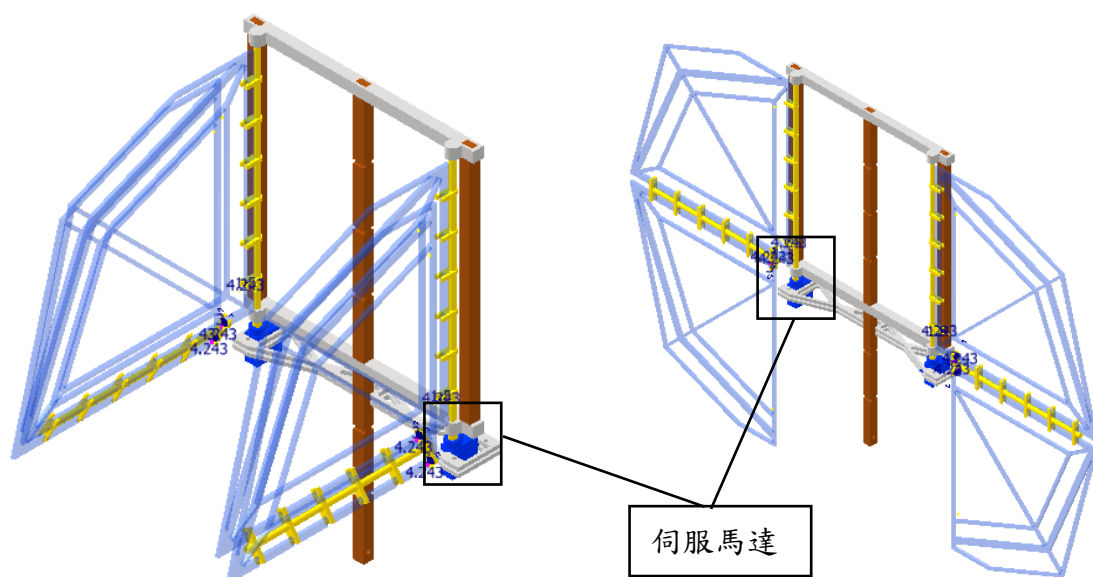


圖 4-2、風帆的展開設計，深藍色為伺服馬達

