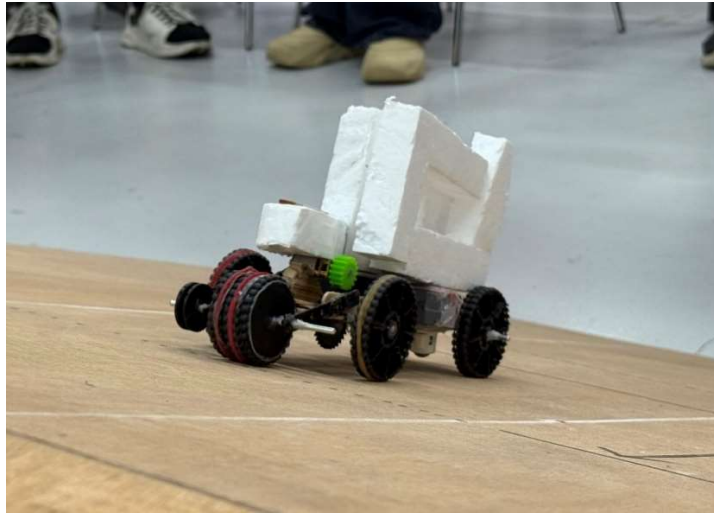


國立臺灣大學生物資源暨農學院生物機電工程學系
機械設計 期末專題書面報告



組別 第六組

組員：B11611001 王宥姍

B11611014 張曉芹

B11611025 李文婷

B11611050 劉庭妤

指導老師：丁健芳 助理教授

朱元南 退休教授

摘要

本專題旨在設計一台能應對不同地形挑戰的機器人，其任務包括直線坡道、獨木橋、水道與風洞四項關卡。機器人需使用直流馬達作為唯一的動力來源，並依據不同任務條件，在不更換零件的前提下調整其機構與配置。為此，我們採用了模組化底盤結構與五輪設計，透過齒輪與皮帶傳動系統將動力由驅動輪延伸至其他輪組，同時加入萬向輪與浮力裝置來提升穩定性與適應性。

設計過程中，我們強調結構對稱並多次改良，以利提升直線行進時的穩定性。針對水道與風洞等特殊場景，額外設計保麗龍浮塊並加以調整位置與角度，以避免傾斜或翻覆。雖然機器人能完全通過所有關卡，但是水道關卡的花費時間略多，不過整體運作穩定，其他項目也有不錯的成績，展現出良好的跨場景適應能力與設計彈性。透過本次專題，我們不僅學習到如何統整各類機構與傳動原理，更在反覆實作與修正中體會設計的實務挑戰與創新思維的重要性。

目錄

摘要	1
第二章 系統架構與原理	4
2.1 系統架構	4
2.1.1 機器人總體配置	4
2.1.2 傳動機構設計	5
2.1.3 輪子配置與定位邏輯	5
2.2 機構分析、原理與說明	6
2.2.1 重心配置與穩定性	6
2.2.2 水道推進原理	6
2.2.3 獨木橋通過機制	6
2.2.4 坡道接觸與爬坡行為	7
2.2.5 風洞環境下的抗風設計	7
第三章 成果與討論	7
3.1 成果	7
3.2 討論	10
3.2.1 傳動齒輪設計策略	10
3.2.2 滑水效率與結構設計關聯性	12
3.2.3 3D 列印與雷切公差設定不當導致配合鬆脫	13
3.2.4 獨木橋通過策略	14
3.2.5 車速提升策略	15
3.2.6 輪胎摩擦力不足問題	16
附錄	18
分工	18
參考資料	18
個人心得	19

第一章 緒論

在本專題中，我們為了設計出能連續通過坡道、獨木橋、水道與風洞，以上四種關卡的機器人，且必須以單一直流馬達作為動力來源，並於全程使用相同零件，在不允許增減構件的前提下，透過結構調整與配置變化來應對不同任務條件。這樣的設定使我們在設計初期便需考量整體機構的多功能性、調整性與穩定性，挑戰著我們的設計思考的能力。

我們最初的設計方向是讓底盤能容納所有功能構件，同時具備切換空間。考量機器人需兼顧在斜坡上防滑、橋面上保持平衡、水中浮起並穩定前進、以及風洞中避免偏移與翻覆，因此整體結構採用對稱佈局與低重心設計，以利提升四項任務的整體穩定性。我們設計了一組五輪配置，包含一前輪、兩個驅動輪與兩個後輪，並於必要時黏貼萬向輪作為防滑與側向穩定輔助。此外，傳動部分以齒輪結合皮帶的方式將動力從馬達延伸至驅動輪與前輪，確保動力輸出具效率與控制性。

然而在實作過程中，我們遭遇了齒輪干涉、傳動不順與行進方向不直等問題。在通過獨木橋時，由於機器人無法走直線，多次在半路脫離軌道，於是我們在前輪的支撐柱上設計了兩個矯正棍、並加入萬向輪穩定機構；在水道任務中，浮塊初期黏貼位置過高導致重心不穩而行進向右偏，經過多次實驗後調整浮塊深度與方向，改善推進穩定性。此外，由於傳動皮帶過長造成空轉，我們縮短前輪皮帶長度，提升動力傳輸效率。這些調整皆反映了我們在設計過程中，反覆測試並加以修正的毅力與精神。

本設計最終整合了模組化底盤、五輪配置、齒輪-皮帶傳動系統與可調浮力機構。結構無外殼包覆，便於快速切換導軌、防滑墊與浮塊等功能元件，提升在任務轉換時的操作效率與設計彈性。最終器人成功通過所有關卡，我們也在過程中學會如何針對限制條件進行具體分析、制定設計策略、並透過實測反覆驗證並優化機構，這些經驗對於未來進行跨場景或多功能任務設計時將具有重要的參考價值。

整體而言，本專題的創新性主要來自機器人需要高度的結構彈性與調整能力，以及大多數零件不可買於市售。一組零件即可實現不同地形的需求，不僅節省資源，也提升設計整合度。此外，從齒輪結合皮帶的傳動機制，到浮塊深度與導向設計，每個部分皆是設計思維與實作反覆修正後的成果。透過這次的設計專題，我們不僅深化了對機構設計與傳動原理的理解，也體會到設計與實踐之間的落差與創造空間，對於未來進行更複雜的機電整合任務具有極大幫助。

第二章 系統架構與原理

2.1 系統架構

2.1.1 機器人總體配置

本組機器人主要由車體本體、五個主要輪子、兩個萬向輪、一顆 500 rpm 6V 直流馬達、電池盒與保麗龍浮材構成。所有元件固定於單一平台上，平台底部配置三段輪組：前輪、驅動輪與後輪，整體呈左右對稱排列，如圖 2.1 所示。

馬達設置於驅動輪軸附近，作為唯一動力來源。電池盒位置固定於車體中線上。萬向輪安裝於車體中後段下方，用於獨木橋任務中提供額外支撐。前輪安裝於由 3D 列印製成之洞洞板上，該洞洞板透過延伸固定結構連接至主平台，提供可調節的位置與安裝孔位。為提升不同表面下的摩擦力，輪子外層額外包覆止滑墊與橡皮筋，以增加與地面的摩擦力。

保麗龍用於水道任務中提供浮力，設計上可於不同任務調整黏貼位置。於水道任務中，保麗龍固定於車體底部，其中前段結構插入前輪車軸間隙，以防車頭下沉；其餘任務中則改黏於電池盒上方，不干涉底盤及車輪運作。冰棒棍於獨木橋任務中固定於洞洞板兩側，用以限制車體於橋面上的橫向偏移；其餘任務中僅黏附於保麗龍上，不接觸地面，以免影響車輪運作。

整體配置採開放式設計，無外殼包覆，利於各項任務前進行必要調整，並保持結構簡潔。架構設計考量穩定性、浮力分布與任務間的可調整性，同時符合比賽中不得增減零件的限制。

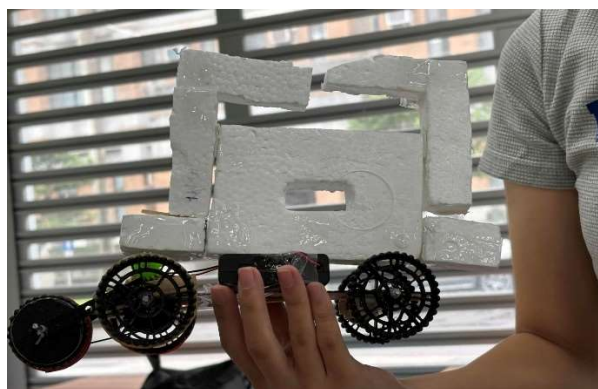


圖 2.1：機器人整體配置側視圖

2.1.2 傳動機構設計

本機器人使用單顆 500 rpm 6V 直流馬達作為動力來源，透過齒輪與皮帶構成的機械傳動系統驅動前進。馬達安裝於車體前段，位置介於兩顆驅動輪之間，但與驅動輪軸分離，輸出軸上裝有小齒輪，與驅動輪軸上的大齒輪啮合，構成第一級減速，並將扭矩傳至驅動輪車軸。

驅動輪車軸上另裝有皮帶輪，經由皮帶與前輪軸上的從動輪連接，使驅動輪與前輪可同步旋轉。後輪未與任何傳動機構連接，亦不參與動力輸出。整體傳動路徑設計為：馬達 → 齒輪組 → 驅動輪軸 → 皮帶輪 → 前輪軸。動力傳輸方向與裝置前進方向一致，傳動結構單純，具可重複性與結構穩定性。

2.1.3 輪子配置與定位邏輯

本機器人採用五輪配置，結構由前輪、驅動輪與後輪組成。輪組配置經歷多次方案比對與位置調整後確定，各輪在任務中分工明確。前輪主要對應獨木橋任務；驅動輪負責地面與風洞行走時的推進，亦為水道任務中的主要推進來源；後輪則用於提升整體平衡，並在獨木橋任務中卡住橋面兩側，防止車體偏移。

所有主要輪子均以 3D 列印製作，外部構造可依使用需求進行微調，如圖 2.2 所示。驅動輪與前輪的距離，主要由馬達與電池盒的尺寸、車輪直徑，以及其在平台上的安裝位置所限制，實際上可調範圍極小。輪距則視整體平台長度與各元件排列所致，無法獨立調整。

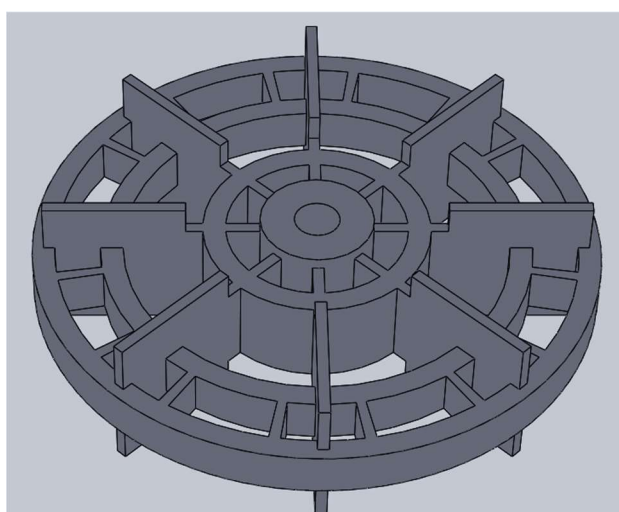


圖 2.2：本設計所使用之輪子 3D 模型圖

2.2 機構分析、原理與說明

2.2.1 重心配置與穩定性

本組機器人在結構設計上將穩定性列為優先考量之一。由於車體不具備轉向能力，行進時需維持直線穩定，避免偏移或側翻，特別是在獨木橋與風洞任務中更為關鍵。

電池盒為重量最主要來源，配置於車體中線上，接近幾何中心位置，以降低偏重現象。唯一的驅動馬達安裝於車體前段靠近驅動輪軸處，但因其質量較輕，對整體重心影響有限。平台左右對稱，並以五輪對稱配置進一步穩定橫向重心。而後輪的加入，有效防止車體尾部因重力作用而下沉。特別是在非水平地形（如坡道與橋面）上，後輪提供額外支撐點，使車體重心分佈更均衡，避免後端搖晃。獨木橋任務中，後輪亦能接觸橋面兩側，提供橫向約束，提升通過穩定性。

綜合各項結構安排，本機器人於靜止與運動狀態下皆具備良好穩定性，能因應多樣場地條件，維持前進方向與姿態一致性。

2.2.2 水道推進原理

本組機器人於水道任務中採被動浮力與主動划水並用之策略。平台下方配置保麗龍作為浮力來源，使整體車體得以維持穩定懸浮，避免車頭前沉或傾斜。保麗龍前段結構插入至前輪車軸附近空隙，以進一步提升前部浮力表現。驅動方式如 2.1.2 所述，馬達啟動後帶動驅動輪旋轉，輪上葉片隨之撥動水流，產生反作用力，進而推動車體前進。

此外，水道賽道寬度為 30 cm，本機器人採左右對稱結構，有效抑制偏航，能穩定朝單一方向前進，不易受水流或轉向不均影響。此設計可於水中全程維持前進方向與浮力均衡，並順利完成 1.5 公尺直線行進任務，符合比賽要求。

2.2.3 獨木橋通過機制

獨木橋任務要求機器人穩定行駛於寬度有限的橋面上，並避免滑落。為此，本組設計於輪組配置及結構輔助元件上均進行調整。前輪為唯一接觸橋面的輪子，安裝位置經多次調整，確保進入橋面時車體不會前傾。兩側冰棒棍固定於前輪洞洞板兩端，於橋面行進期間形成橫向物理限制，防止車體側滑跌落。驅動輪負責維持前進動作，

穩定推進車體通過橋面。後輪略寬於獨木橋，於車體偏移時可卡住兩側邊緣，提供額外的橫向約束。上述結構組合形成連續接觸與約束機制，搭配低重心與對稱佈局，使本組機器人可穩定通過橋面全程，並維持前進方向與姿態一致。

2.2.4 坡道接觸與爬坡行為

坡道任務中，機器人需由水平地面進入斜面，並順利爬升至頂部。為避免前段底盤與坡面發生干涉，本組於設計階段調整前輪位置及驅動輪軸高，使車體進坡初期具備足夠的接觸角，減少卡角風險。

本機器人採用低重心配置，電池盒與馬達等主要重量元件集中於車體中段，對提升接觸穩定性與爬坡過程中的抗傾斜能力均具正面效果。在爬坡過程中，驅動輪負責輸出推進力，前輪同步轉動，協助克服斜面阻力。由於後輪不具動力傳遞機構，僅在抵達坡頂時提供額外支撐，防止車尾下墜。整體結構在不加裝任何特殊爬坡裝置的前提下，仍可平穩通過設計坡度，達成任務要求。

2.2.5 風洞環境下的抗風設計

風洞任務模擬實際風阻環境，要求機器人在強風下仍能穩定前進。本組設計強調重心配置、結構對稱與外部輪廓簡化，以提升抗風表現。整體結構採低重心設計，電池盒固定於車體中線下方，平台無外殼包覆，減少風阻來源。輪子、馬達與其他元件皆沿中線左右對稱配置，使風力作用均勻分布，避免因單側受力產生偏移或旋轉。此外，保麗龍於風洞任務中維持安裝於電池盒上方，並在不干涉操作的前提下調整黏貼角度，使其迎風面積盡可能縮小，以降低整體風阻，避免因風力改變車體行進姿態。

第三章 成果與討論

3.1 成果

本次機械設計專題比賽中，我們自行設計與組裝的車體重量約為 260g，經歷了四道關卡的考驗，最終成功完成全部挑戰，並獲得第四名的成績。整體比賽過程中，我們以「穩定通關」為設計核心理念，儘管在某些關卡中速度表現不及其他組別，但仍展現出良好的整體結構設計與關卡適應性，尤其是穩定性與問題應變能力，為我們的車體設

計目標做出最佳實踐。

第一關上坡關卡我們花費 8.63 秒，排名第 2。剛開始在上坡時，可能因為車胎紋路或是橡皮筋的表面方向造成車子爬坡時會嚴重轉彎，雖然能有足夠的抓地力開上去坡，但卻因為偏離直線前進而在還未到達的終點高度前就偏離坡道墜落。後來經過不停地調整上坡之初始角度數次後，終於能完成第一關之上坡關卡，雖然耗時 8 秒，但這關卻是大部分組別無法完成之關卡。此成績不僅證明我們在機構與動態穩定性上的設計具有一定水準，也顯示出我們在比賽現場具備良好的調整與應變能力。

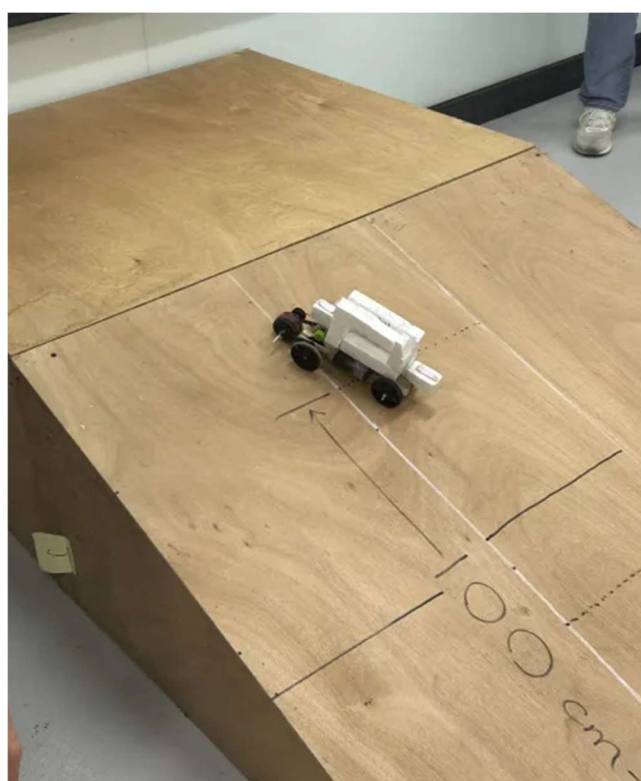


圖 3.1：上坡關卡

第二關獨木橋花費 2.59 秒，排名第 7。儘管車子行進過獨木橋的速度很穩且快，但因為各組別皆是快速衝過以增加穩定性的策略，又因為我們於獨木橋關卡時只設計了一個輪子（還是經皮帶輪二次傳動的），因此雖然穩定的行走，卻在速度上輸了大家一點點。本關反映出我們在傳動設計上仍有優化空間，若未來能採用雙輪或直驅傳動等設計方式，應能在保持穩定的前提下進一步提升速度。

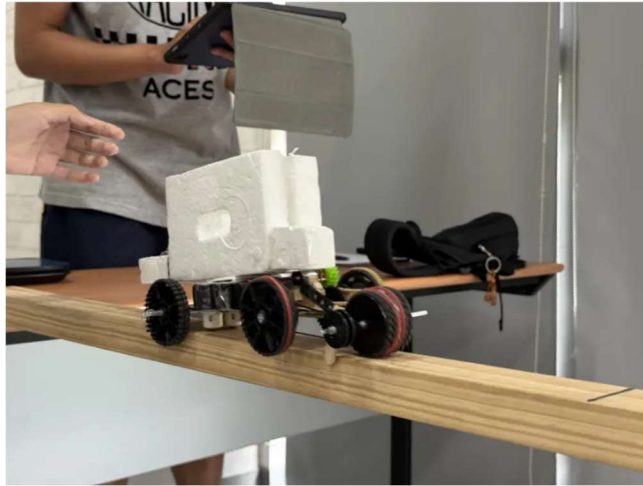


圖 3.2：獨木橋關卡

第三關風洞花費 1.53 秒，排行第 6。因為風洞關卡的風阻其實很小，幾乎對各組的車子影響甚微，因此這關主要比的是車子設計的行進速度。因為我們當初設計的初衷不是速度，而是讓車子能夠平穩通過每個關卡，因此速度不是優點的我們車子慢別人 0.2-0.8 秒之差落後。此結果再次驗證我們設計上的取捨選擇，在穩定性與通用性之間取得平衡，雖然未能在單一速度關卡中脫穎而出，但整體設計仍符合我們的核心目標。



圖 3.3：風洞關卡

第四關水道共花費 33.5 秒，排行第 6。會花費較長時間是因為我們車子的在水道中的唯一前進動力來源於輪子側邊突出的側板片轉動，如水車一般的滑水使車體向前進，兩顆前輪的滑水能推動的動力累積較小，所以車體向前進的速度較慢。此設計雖然在動

力效率上有所犧牲，但我們仍以穩定、安全的方式完成水道通過，整體上展現出良好的防水性與水上推進能力，對於機構防護與模組設計亦提供了寶貴的經驗。



圖 3.4：水道關卡

總而言之，雖然因為速度不快的缺點導致在風洞及獨木橋上落後別組，最終拿到了第四名。然而我們卻是此次期末專題中唯二成功通過四道關卡之組別，這次的期末結果也符合當初對車體設計的目標——穩定地完成每項關卡。我們認為，此次專題不僅讓我們學習如何整合機構設計、傳動系統、水上推進與現場調整，更讓我們在團隊合作、時間管理與實作精神方面獲得了極大成長。未來若有機會再改良車體，我們將優先針對提升速度、增強動力系統效率以及簡化機構進行優化，以期在保持穩定性的同時提升整體競爭力。

3.2 討論

本次車體設計過程中，我們持續面臨設計理想與實務限制之間的取捨與調整。在不同挑戰項目中，車體需兼具靈活性、穩定性與驅動效率，因此我們針對傳動機構、底盤高度、行進穩定性與模組整合方式進行多項實驗與調整。以下分項說明設計過程中各關鍵元件的觀察與反思。

3.2.1 傳動齒輪設計策略

本組於初期設計中選用的傳動齒輪以提升輸出扭力並強化驅動穩定性為目標。然而在獨木橋項目實測中，我們發現該節輪直徑過大，因此齒輪與橋面產生摩擦，進一步導致車體偏移與前進速度下降。雖後緊急於車底增設萬象輪以墊高底盤，略為改善接觸情形，但此屬應急措施，無法根本解決設計上的干涉問題。

若重新設計，可從以下數個方向進行優化：

- 下修齒輪之節輪直徑，減少與地面的潛在接觸機會。
- 可重新調整馬達與齒輪在底盤中的安裝位置，將傳動軸及齒輪結構適度上移，使其不低於輪軸底線。
- 導入可切換齒輪組的變速機構，在高扭力與低底盤需求間取得更彈性配置。
- 考慮使用包覆式傳動系統或半封閉式底盤設計，將齒輪收納於車體內部，提升整體結構整合性與抗干涉能力。

綜上所述，本次傳動齒輪雖提供良好驅動力，但在特定地形條件下反而成為主要干擾因素。若能於設計初期即納入底盤高度、橋面空隙與行進策略等複合參數評估，將有助於傳動系統發揮更佳整體效能。

而前輪設計與固定策略，由於本組車體前輪設計初期採用穿軸板固定方式，穿軸板為一片 3D 列印之有孔板子讓車軸能從孔穿過，並以膠合方式將穿軸板黏貼於車體前端。然因馬達組設置於車體最前側，前輪安裝空間受限，且穿軸板定位困難，導致前輪高度不穩，無法有效控制前輪與地面的接觸狀態。過低時，車體於起坡瞬間易產生卡滯；過高則無法觸及橋面造成失效。此外，膠合過程中膠水尚未完全乾燥時板件易受外力影響而產生高度偏移，進一步加劇上述問題。

另一方面，前輪驅動採皮帶傳動結構，但由於皮帶具固定張力，初期選用較長皮帶時，拉力會將前輪逐漸拉近車體本體，導致傳動系統軸距變化，進而產生空轉與動力傳遞失效等問題。最終本組改用較短皮帶解決前輪逐漸靠近本體導致無法傳動的問題，雖然有效避免空轉的情形發生，但此為修正結果，並未從結構設計源頭解決問題。

若重新設計，可從以下數個方向進行優化：

- 可於車體設計階段即預留前輪空間。考慮於本體前方中段預先切出前輪安裝空間，將前輪置於車體最前方的中央凹槽，並以雙側夾板固定，減少額外接合板件需求與黏貼誤差。
- 取代黏著式組裝，建議採用螺絲或卡榫設計強化前輪固定性，避免黏膠乾燥過程中發生位移，也利於拆裝與調整。

- 將皮帶與輪軸之間的相對位置模組化固定（如預設滑槽或限位件），使皮帶張力保持穩定，避免驅動軸距改變導致的動力損耗。
- 若空間與時間允許，可考慮加裝可微調高度的固定座（如螺旋調節架），提高前輪與地面接觸精度，提升整體通行穩定性。

本部分問題主要源自於整體設計規劃中前輪構型未納入主結構整合考量，導致後續組裝與傳動效能皆需透過補救方式進行修正。若能於初期即納入統一設計，有望顯著改善車體起步穩定性與橋面行進表現。另外，本組於車軸與輪件（含前輪、傳動皮帶輪、一般車輪）之結合方式多採用保麗龍膠黏合與膠帶限位，實作中發現在驅動力傳遞過程中仍可能出現輪件滑移、轉角誤差等問題，影響整體傳動效率與行進穩定性。

為提升輪件與車軸的結合穩定性，可採以下優化方向：

- 使用限位環（Stop Ring），透過機械限位方式固定輪件位置，避免滑移與偏移。
- 導入螺絲套筒或可調式卡榫。兼顧固定強度與可調整性，提升組裝精度與維修便利性。
- 輪件設計預留固定孔或凹槽。於輪胎與皮帶輪本體預設定位結構，提升黏著可靠性並減少晃動空間。
- 優化車軸表面粗糙度或添加止滑材質。提高輪件與軸間摩擦力，降低旋轉偏移風險。

透過上述方式，可在不犧牲調整彈性的前提下，提升整體傳動穩定性。此問題屬細部結構設計之延伸，反映出早期設計中對「旋轉部件固定」機構的思考不足，未來應在傳動系統整體佈局中一併納入考量。

3.2.2 滑水效率與結構設計關聯性

本組滑水設計採用中空葉片輪胎，藉由輪胎旋轉帶動水流推進。但實測發現車體滑水速度偏慢，推進效率不足。

經分析，可能與保麗龍浮塊設計有關。為確保車體浮力穩定，我們於底部加裝浮塊，使輪胎僅有一半浸入水中，葉片接觸水體面積與角度受限，導致推力不足。此外，因車體重心低，葉片旋轉時常處於半浮半沉狀態，造成推進力分散、效率降低；葉片數量與深度亦未經模擬優化，可能影響入水角度與水流引導效果，進一步降低滑水表現。

為提升滑水性能，可考慮以下優化方向：

- 調整浮塊與輪胎相對高度。將保麗龍浮塊位置微調，使輪胎葉片入水深度更穩定，

避免半浮半沉狀態影響推進。

- 強化葉片輪胎之水推結構。可嘗試加深葉片曲度或增加葉片數量，以提升單位旋轉所產生之水推力。
- 改進驅動系統穩定性。確保葉片輪胎於運轉中受力穩定、無晃動滑移，減少能量損耗。

透過以上調整，預期可有效提升車體滑水穩定性與前進效率。

至於車體結構與防水配置不足的部分，因為本組車體採用單層平板結構，將馬達與電池盒等元件直接黏貼於密集板表面。此設計雖有助於快速佈建與調整，但在下水測試中觀察到，因車體底盤高度有限且無額外防水結構，水面容易淹至元件底部，對電子設備造成潛在風險，也影響滑水項目的穩定性與續航力。

若需強化整體防水與結構保護，可考慮以下優化方向：

- 採用雙層結構。下層保留浮力與傳動設計，上層單獨承載電子元件，避免直接接觸水面。
- 保麗龍浮殼整合。設計保麗龍中空凹槽，將電池與馬達半嵌入，提升浮力並自然阻水。
- 仿照寶特瓶結構。參考其他組使用挖空寶特瓶安裝電子元件的方法，簡易且具防水效果。
- 設置擋水壁或邊緣抬高。於車體邊緣加高，形成淺槽結構，減少水面波動直接影響內部元件。

透過以上方式可有效提升車體防水能力，同時保護重要電子元件，提高各項目表現穩定性。此外，本組車體主結構採用密集板製作，雖便於加工，但於下水測試後發現，密集板吸水變形明顯，導致車身底板凹陷，進而影響獨木橋與爬坡項目的穩定性與通過表現。為改善此問題，未來可考慮改用不吸水、剛性較高的壓克力板作為車體材料，以提升整體耐用性與穩定性。但須注意壓克力板質量較大，車體總重可能增加，需同步評估對浮力配置（如浮塊面積、位置）與馬達負載的影響，並調整設計避免影響其他項目表現。

3.2.3 3D 列印與雷切公差設定不當導致配合鬆脫

本組於本次設計中多處使用 3D 列印製作輪件與齒輪。雖已具備初步公差調整經驗，然而仍觀察到部分列印孔洞與車軸之間配合過鬆，導致組裝後出現輪件晃動、轉動不穩等問題，影響傳動效率與車體穩定性。

以本次前輪與驅動輪使用之 3D 列印孔洞為例，實際列印直徑為 4mm，但配合對象為直徑約 3mm 之車軸，裝配後有明顯間隙，實測轉動時出現滑動與偏擺現象。此問題回推應與 3D 列印特性有關，即越小尺寸下公差偏差越大，若未針對公差進行優化設計，將難以精準控制配合鬆緊。

未來若再次以 3D 列印方式製作與車軸接合之零件，應在建模階段即考量實際列印誤差，適度縮小孔徑設計值，例如針對 3mm 車軸可考慮設計為 3.6 或 3.7mm，並透過小尺寸試印確保裝配穩定性。如需進一步提升配合精度，亦可於列印後使用鑽孔或銑削方式調整尺寸，或考慮嵌入標準金屬套筒等方式以強化結構穩固性。適當控制公差，不僅有助於提升組裝品質，更能降低因配合鬆動所導致的累積誤差，確保車體在實作與測試中的穩定表現。

雷射切割孔洞預留公差的部分，因為本組於本次製作中採用雷射切割密集板以製作車體結構件，並延續期中經驗，於零件上預先設計孔洞以利螺絲鎖附。然而實作過程中發現，原預留之孔徑尺寸因考慮公差問題而刻意放大，導致實際切割完成後孔洞過大。

此情形應與雷射切割精度高、實際加工公差極小有關，若未依據實際機台性能調整預留公差，反而可能因多餘空隙導致結構不良。與 3D 列印製程不同，雷射屬於減材加工，其孔洞尺寸與原始設計圖極為接近，因此不宜將 3D 列印公差邏輯套入在雷射公差上。因此，未來若再次使用雷射切割進行孔洞製作，應依據所用材料（如密集板或壓克力）的熔邊特性與機台精度，調整預留孔徑，使螺絲能剛好穿入或略緊配合，避免出現滑動、偏移或鎖固不穩之問題，以提升整體結構緊密度與耐用性。

3.2.4 獨木橋通過策略

本組在初期設計中，嘗試以「後輪卡住橋側」的方式通過獨木橋。透過調整後輪間距，使其緊貼橋面邊緣，希望藉此穩定行進路線並避免滑落。然而實際測試時發現，此方式雖在靜止或低速時有效，但因車速較快且轉向難控，前輪仍可能偏離，導致車體逐漸轉向甚至掉落橋外。

為改善此狀況，本組於前輪穿軸板兩側黏貼冰棒棍，作為簡易導軌，讓車體前端也能貼住橋側，與後輪同步導正，提升行進穩定性。實測證實此做法能有效降低偏移，順利通過獨木橋項目。此現象顯示，僅靠車體後端卡位無法確保整體平衡，須從前後結構同步設計導正機制，並綜合考量動態行進時的姿態變化與偏移傾向。

若重新設計，可從以下方向進行優化：

- 整合式前導引機構設計。於車體設計階段即預留前導結構，透過一體成形或螺絲固定方式，取代膠合冰棒棍之簡易設計，提升對稱性與結構穩定性。
- 後輪導向設計強化。除既有寬度設計外，考慮於後輪外緣加裝橡膠圈或限位環，提升與橋面側邊之摩擦與導正效果，降低偏移風險。
- 導引角度最佳化。前導結構可採內斜面設計（如沙漏狀前輪），使車體進入橋面時自動導正方向，提升容錯能力。
- 強化車體整體對稱性設計。於初期建模階段即檢查車體結構之左右重量分佈、外型對稱性與輪軸配置是否均衡，確保行進受力一致，有助於自然保持直線行進，減少偏移傾向。

本次策略雖最終經由臨時補強而成功完成挑戰，但整體過程反映出對「動態穩定性」與「結構對稱性」考量之不足。未來若能於設計初期即納入導向機構與對稱性評估，將可大幅提升車體於狹窄路徑中之行進穩定度與容錯能力。

3.2.5 車速提升策略

雖然本組主要優化重點在於穩定性改善，但在實際比賽中，若能進一步提升車速，也有助於縮短完成時間、獲得更高分數。因此我們亦對車速提升進行討論，並歸納數項可行方案如下：

- 減輕車體重量。透過更換輕量化材料或重新配置零件分佈，可減少負載，間接提升加速與爬坡性能。
- 使用較大直徑輪胎。加大輪胎尺寸能使每轉行進距離增加，但可能造成穩定性下降，需搭配橋面尺寸評估整體可行性。

上述方法需與穩定性設計併行考量，後續實作可視時間與資源逐步導入測試，以追求成績與穩定兼顧之最適解。

此外，在測試中，本組發現車輛於起步及高速階段偶爾出現動力傳遞中斷的情形。經檢查後確認，問題源於車板本身材質較薄，於裝設馬達後因應力與震動逐漸彎曲，使馬達上的小齒輪與車軸上的大齒輪齒合不良，進而出現空轉現象，導致馬達雖有出力但無法有效帶動車輪旋轉。

此問題對車速表現與穩定性影響極大，尤其在關鍵加速時段可能完全失去推進力，造成成績大幅波動。為改善此情形，後續可考慮於馬達安裝處設計專屬支撐結構，例如使用較厚或高剛性的材料作為馬達安裝座，或額外增設固定件以維持齒輪間距與壓合力，提升整體驅動效率與穩定性。

3.2.6 輪胎摩擦力不足問題

本組車輛因比賽規則限制，需使用非市售材質製作輪胎，故以 3D 列印方式自行成型。然而列印材質表面相對平滑，缺乏彈性與紋理，導致在坡道與木板等項目中出現推進困難、輪胎打滑、車體原地空轉等情形，影響整體表現與穩定性。

為改善上述問題，初期曾嘗試將止滑墊裁剪包覆於輪胎外圍，盼能提升表面摩擦力。實測後雖略有改善，但在負載爬坡或角度變化劇烈時仍無法穩定推進。後續改採橡皮筋纏繞方式，透過彈性摩擦與表面粗化原理，有效提升輪胎抓地力，順利完成斜坡與木板通行。

若需進一步提升摩擦力並確保結構穩定性，可考慮以下優化方向：

- 橡皮筋多層纏繞並交錯固定，避免滑脫與偏位。
- 嘗試不同寬度或粗細橡皮筋組合，優化貼合效果與磨耗情形。
- 將輪胎設計為可嵌入式凹槽結構，使橡皮筋固定更穩定不易脫落。
- 輪胎表面設計優化，於 3D 列印模型中加入凹槽或紋理，提供基礎摩擦。
- 使用其他材料包覆輪胎增加摩擦力，如橡膠圈等等。

透過上述策略可在不違反規則的前提下有效提升輪胎抓地能力，改善車體於坡道與平面項目中的推進效率與穩定性，進一步強化整體表現。

此外，本次競賽共包含爬坡、渡水、獨木橋與逆風前進四個項目，雖然理想狀況為四關皆順利完成，但在設計與資源有限的情況下，若無法兼顧所有功能的穩定性與效能，反而可能導致整體表現失衡。例如，若為追求防水與浮力而增加車體重量，可能影響逆風與爬坡表現；反之，為提升加速與操控性而輕量化設計，則可能導致渡水穩定性下降。

因此，在資源與設計條件受限下，採取「戰略性放棄」某一項目，將更多設計資源集中於三個可穩定完成的項目，反而可能提升總分表現。例如若選擇放棄浮水功能，可將原本設計用於保麗龍與防水構件的空間與重量轉用於馬達、齒輪與加速設計，提升陸地項目速度與穩定性；若選擇放棄逆風前進項目，則可簡化車體正面構型、降低風阻負擔，有利於橋面穩定與直線加速。

未來若再次面對多項複合挑戰的競賽環境，可考慮以下策略性規劃方向：

- 優先分析各項目得分權重與通過難度，評估是否有高風險但低回報之項目可供放棄。
- 於設計階段即區分核心機能與次要機能，確保關鍵項目的穩定性優先落實。

- 採取模組化設計，使某些項目功能可於比賽前根據實際情況決定是否組裝，保有彈性調整空間。

透過戰略性取舍與資源集中，有助於在時間、材料與人力有限的條件下，獲得更穩定且具競爭力的整體表現。

小結

綜合本次設計與測試經驗，可見車體各項性能表現多半取決於初期結構設計與材料選用的精度與整合性。雖然本組已在實作過程中不斷進行補強與優化，仍暴露出在動態穩定性、配合精度、材質選擇與結構規劃等層面的設計不足。尤其是傳動機構與前輪結構的空間規劃、防水與浮力配置、以及旋轉元件與軸間配合的鬆緊控制，均對整體穩定性與挑戰項目表現造成顯著影響。

此外，本組主要使用密集板作為車體主結構，雖加工便利，但面對吸水變形與結構下陷問題，已明顯限制其應用性。未來可考慮改採壓克力、橡膠、或其他兼具防水性與剛性的材料進行取代，同時需評估質量變化對浮力與驅動效率之影響，進行全盤調整。3D 列印與雷射切割製程方面，亦應根據不同加工機制精確調整公差設計，以提升組裝品質與耐久性。

整體而言，若能於初期設計階段即統合功能需求、地形條件、材料特性與加工限制，並提前建立模組化與容錯性思維，將能有效提升各挑戰項目之表現穩定度與結構耐用性，達成更具整合性與可靠性的車體設計成果。

附錄

分工

本組在專題執行過程中並未採取嚴格劃分之分工方式，而是以「彈性協作、視情況支援」為原則，依照各組員時間與能力安排，協力完成設計、製作與報告撰寫等任務。以下為依實際參與內容整理之分工概述：

工作	找資料	設計架構	繪製 stl 檔	列印零件	雷射切割
姓名	王宥姍 張曉芹 李文婷 劉庭妤	王宥姍 張曉芹 李文婷 劉庭妤	張曉芹 李文婷	再次感謝助教協助列印及切割零件！	助教 劉庭妤

工作	組裝車子	測試	聯絡老師	聯絡助教
姓名	王宥姍 張曉芹 李文婷 劉庭妤	王宥姍 張曉芹 李文婷 劉庭妤	劉庭妤	張曉芹 李文婷 劉庭妤

書面報告分工：

工作	摘要、緒論	系統架構與原理	成果	討論
姓名	李文婷	劉庭妤	王宥姍	張曉芹

參考資料

無

個人心得

王宥姍：

在這次機械設計的專題製作中，我們從零開始設計與組裝一台能夠應對多種關卡的车子，過程中不僅挑戰了我們的機構設計能力，也考驗了團隊之間的合作與溝通。每個關卡都需要不同的設計考量，從上坡的抓地力與角度設定，到獨木橋的穩定傳動，再到風洞中車體的行進效率與水道中的推進方式，讓我們實際體會到理論與實作之間的差距，也學會了如何在問題中快速找出解法。

雖然我們的车子在速度上不如部分組別，但我們卻是少數成功通過四個關卡的隊伍之一，這讓我們對原先所訂定「穩定性優先」的設計方向有了更多肯定。同時也讓我們意識到未來若能在保留穩定性的前提下優化速度表現，將會有更出色的表現。

張曉芹：

在這次的期末專題中，我們遇到許多困難，像是一開始對車體還不熟悉，導致遲遲無法動手製作，後期測試時又狀況連連。整個過程讓我更體會到「從做中學」的重要性。雖然我們這次有提早開始動工，但因為不能使用市售的車輪和齒輪，前期一直無法進行實體測試。到了後期終於做出車體，卻又是在實際測試時才發現哪些零件參數需要調整、哪些設計需要微調。整體來說，這是一次很有挑戰性的專題。最後能做出完成四項挑戰的車子，讓我很意外，沒想到我們真的能從零開始做出一台能爬坡下水的車！

李文婷：

在製作這台車時，其實我們並沒有四擇三，而是希望我們的车子可以具備同時通過四個關卡的能力，所以我們沒有捨棄任何一關。不過相對應的犧牲是，整體過關時間會下降，但好在最後測試時有四關都通過，非常感動！但我認為學最多的是如何應變與調整，因為過程中我們做了超多調整，我們每次測試完水道之後，再跑一次其他關卡就有些地方出現新問題，可能跟密集板不太能一直碰水有關，於是我們就一直重複解決各種新的小細節，久而久之也習慣「有問題沒關係，想辦法解決就好」的毅力與精神 XD

劉庭好：

這次專題我覺得學到了很多，我們這組一開始的目標就是穩穩拿到 14 分，所以其實並沒有很多的去思考如何讓機器人可以運行的更快，只確定他能穩定通過 4 關，如果重來一次的話，我們應該會直接捨棄水道，讓機器人能在其他關卡取得相對優異的表現。

以下是一些關於規則上的建議，僅供參考，一切以老師的想法為主： 1.關於違反規定的罰則：希望老師在一開學就說清楚可能違反規定直接零分 2.關於制度的部分，我覺得現在的競賽方式會使得先後順序對於結果有過大的影響，並且如果不以競賽方式進行，我認為老師今天在處理不符合規定的同學的時候，會影響到的人相對少，可能也不會有這麼多同學有怨言 再次感謝老師和助教們的付出！

p.s.結束那天把車給老師的時候忘記說了，裡面的電池還沒拔下來，還有如這份報告所提到的，車板嚴重變形的問題，我也不確定這台車明年還能不能順利過關 XD