

第二十三屆旺宏科學獎

成果報告書

參賽編號：SA23-018

隊伍名稱：自助餐很好吃

作品名稱：創新式輪內電機減震裝置

參賽類別：機械

關鍵字：避震系統、輪內電機、模組化

目錄

壹、摘要.....	1
貳、研究動機.....	1
參、研究目的.....	1
肆、研究流程.....	1
伍、研究器材.....	2
陸、發想與一到四代模型製作.....	2
柒、第五代模型設計與製作.....	7
捌、實驗方法.....	15
玖、討論.....	27
拾、結論.....	27
拾壹、未來應用.....	27
拾貳、參考資料.....	30
拾參、附錄.....	31

壹、摘要

在這個進步飛速的 21 世紀，車子已成為絕大多數人代步的工具，但市面上常見車輛的馬達大多都是在避震之下，直接承受路面帶來的衝擊，再加上馬達要承受整組懸吊系統重量，對馬達的負荷是非常可觀的，所以我們以輪內電機作為參考，希望能設計一款具有懸吊保護的輪內電機，讓車輛在享有輪內電機優勢的同時降低輪內電機的負面影響

貳、研究動機

輪內電機具有讓車輛更靈活，減少車體空間等優點，但是直接接受路面衝擊對馬達造成的傷害，與馬達重量對於懸吊的負擔仍然是有待解決的問題。如果能夠解決這些問題將會大幅增加輪內電機的市場，並提高車廠設計使用輪內電機的意願。所以我們希望能設計一款具有懸吊保護的輪內電機，讓車輛在享有輪內電機優勢的同時降低輪內電機的負面影響

參、研究目的

- 一、減少馬達受到路面的衝擊
- 二、減少簧下質量
- 三、減少車重
- 四、減少零件數量
- 五、降低機構體積
- 六、結構輕量化
- 七、增加傳動效率

肆、研究流程

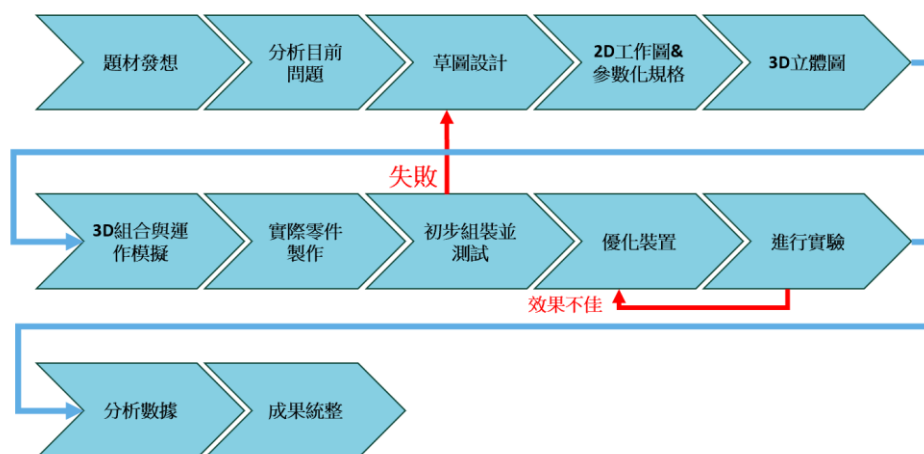


圖 1.研究流程圖

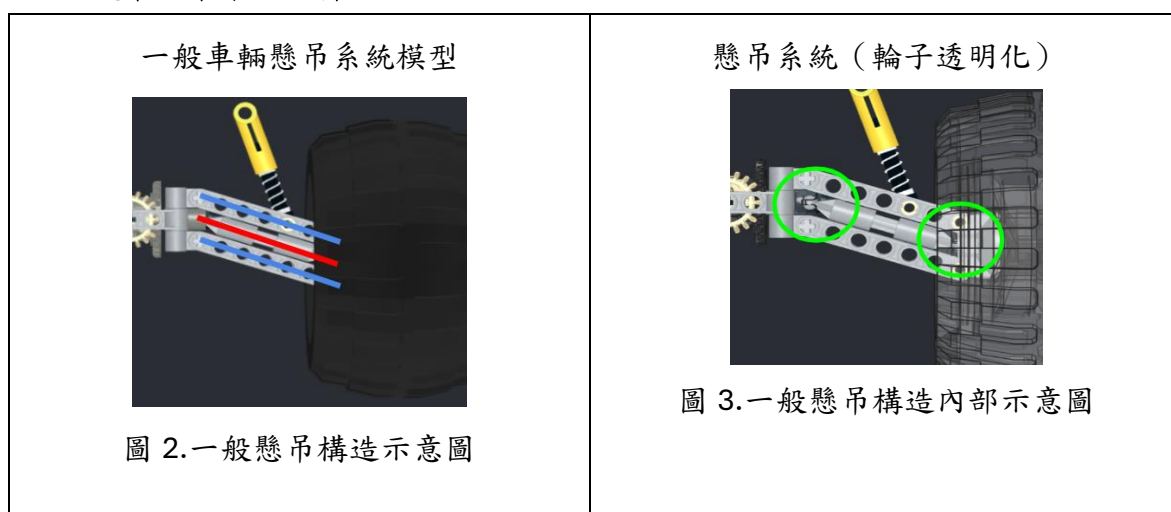
伍、研究器材

表 1. 研究器材表(器材圖片詳見附錄)

1. 3D 列印機	2. 雷射切割機	3. 3D 列印線材	4. 壓克力板
5. 彈簧	6. 軸承	7. 碳纖維棒	8. 馬達
9. 樂高零件	10. 電池	11. 遙控器與接收器	12. 螺釘
13. 測試軌道	14. 電子秤	15. 配重塊	16. 機油
17. 砂紙	18. 砂輪機	19. 三秒膠	20. T 插接頭
21. 靈敏鑽床	22. 六角板手	23. 游標卡尺	

陸、發想與一到四代模型製作

一、汽車懸吊系統分析

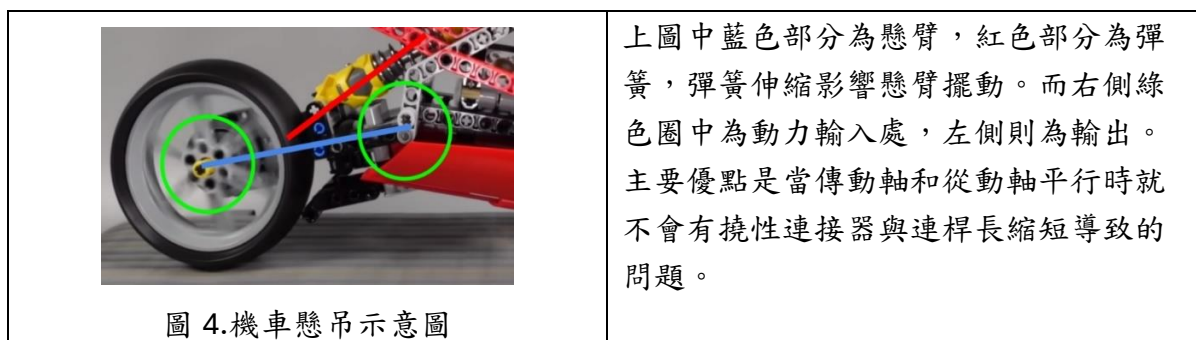


從左圖可見主要固定輪胎的是標上藍線段的平行四邊形連桿，傳達動力的轉軸為左圖紅色線段處。右圖綠色圈中為兩個十字接頭。

推測無法放入輪內的原因：

1. 輪胎上下幅度 $D = (\text{連桿長}) l \times \sin(\text{連桿擺動角度}) \theta$ 。
這意味如果為了將連桿裝入輪中縮短連桿長，會導致輪胎上下幅度極限縮小。
2. 為了在輪胎擁有上下方向自由度的前提下傳動軸勢必需裝上兩個撓性連接器，如果直接縮小連接器有可能無法應付傳動給輪胎的扭力。

二、機車懸吊系統分析



三、 初代模型製作

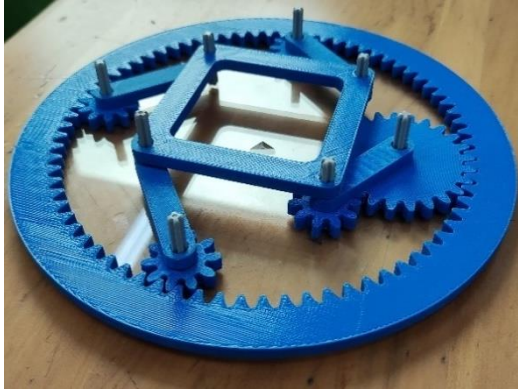


圖 5.一代模型實體圖

優點：結構簡單，便於製作、質量小

缺點：結構不穩，無法順利傳動與避震

根據剛開始我們設下的研究目的，想要將馬達與路面震動隔絕，我們必須想出一種不讓馬達與輪框直接接觸，同時又能成功傳達動力的傳動方式。而我們想到利用類似摩托車的懸吊形式，將馬達置於內輪框上，並利用四組相同結構讓內輪框在外輪框內因震動而移動時，透過四方的彈簧支撐，能持續傳動同時不被路面震動影響。可惜在設計時，沒有考慮到製作的難易度，最後模型製作沒有成功，機構並不能作動。

初代設計想法草圖詳見附錄

四、 二代模型製作

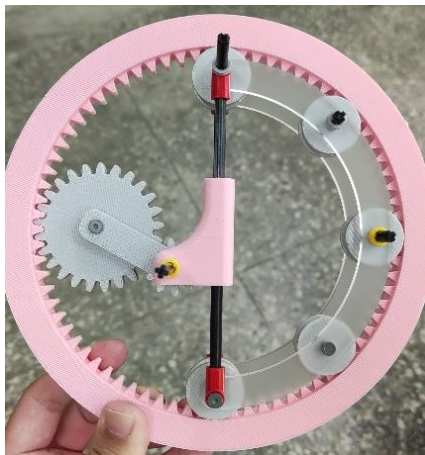


圖 6.二代模型實體圖

優點：較上一代穩固、具傳動功能、結構簡單

缺點：避震效果差、輪徑過大，摩擦消耗大，傳動齒輪無法持續貼合外輪框

由於第一代設計有結構不穩與無法順利傳動等問題，在第二代設計，我們將四組單一的齒輪傳動改成除了傳動輪以外的五個支撐輪都是滑輪加滑軌的設計，增加了結構整體的穩定性，也減少了齒輪傳動帶來的跳動，並將避震效果改為針對上下避震，降低製作難度且能成功傳動。但是此代設計具有體積大、摩擦消耗極大、傳動齒輪無法持續貼合外輪框...等問題，機構基本上無法正常運作。

五、三代模型製作

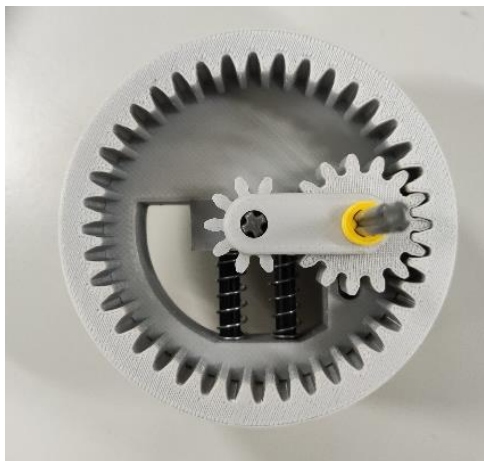


圖 7.三代模型實體圖

優點：較上一代體積小、具傳動與避震功能
缺點：傳動會產生速比問題、作動時懸臂會因干涉而卡死，**詳細問題說明請見附錄**

將第二代設計縮小，將外輪框旋轉時與多個滑輪接觸改成直接與內輪框滑動接觸，透過兩根滑桿使內輪框可上下滑動

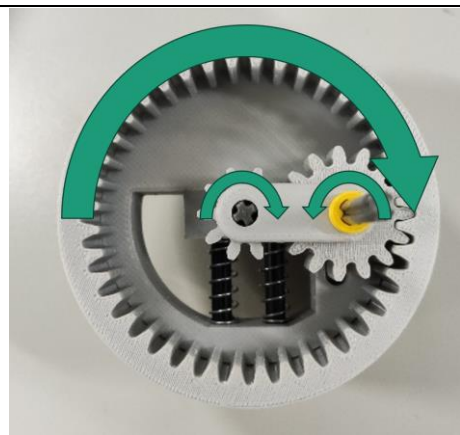


圖 8.機構傳動圖

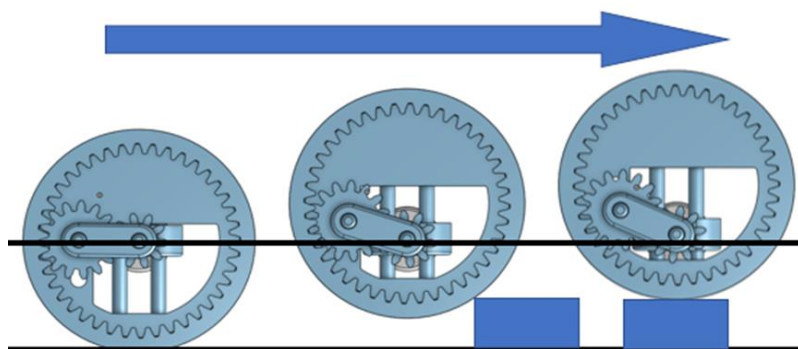


圖 9.機構減震圖

六、四代模型製作

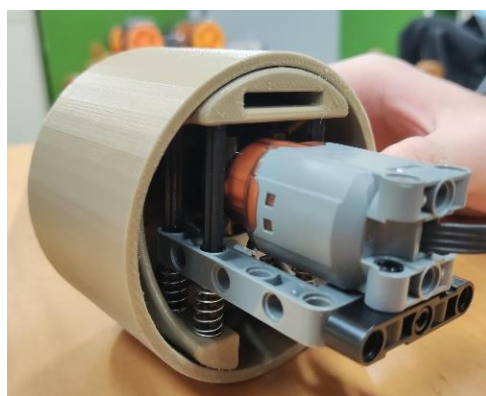
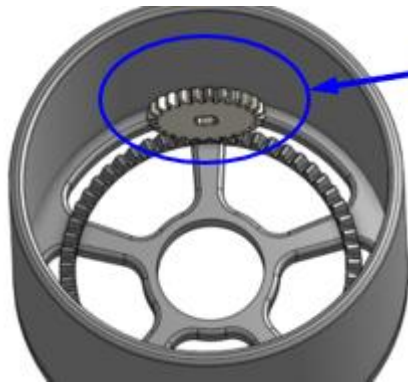


圖 10.四代模型實體圖

優點：解決前幾代所有問題

缺點：軸承容易脫落、與車體組合時剛性有待提升。

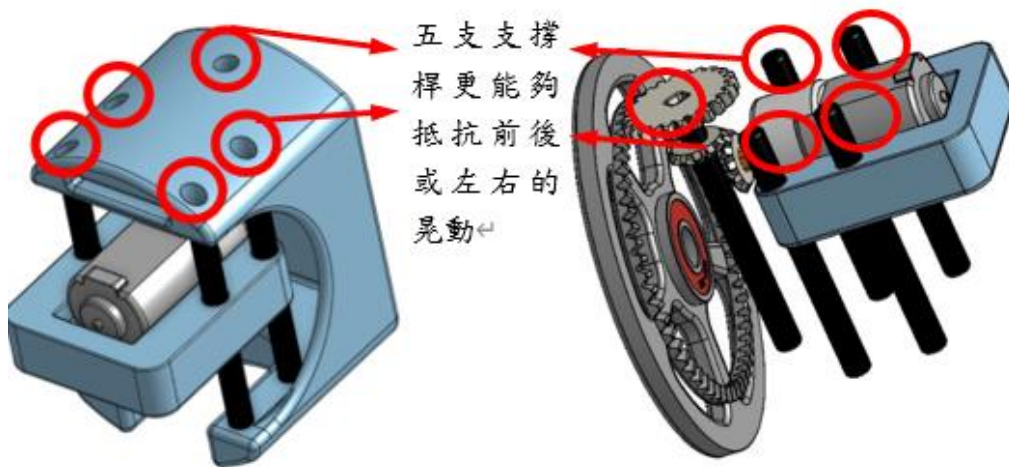
1. 懸臂擺動影響速比：傳動改用正齒輪與冠狀齒輪取代內齒輪



在輪框內側加入冠狀齒輪，將傳動軸旋轉 90 度帶動輪框←

圖 11.冠狀齒輪構造示意圖

2. 機構穩定度差：使用 5 根滑桿支撐固定



五支支撐桿更能夠抵抗前後或左右的晃動←

圖 12.結構加強示意圖

3. 機構容易卡死：使用滑桿取代懸臂再搭配栓槽鍵讓傳動齒輪滑動，並且在輪框中加入滾珠軸承、打磨各接觸部位然後上油減少摩擦。

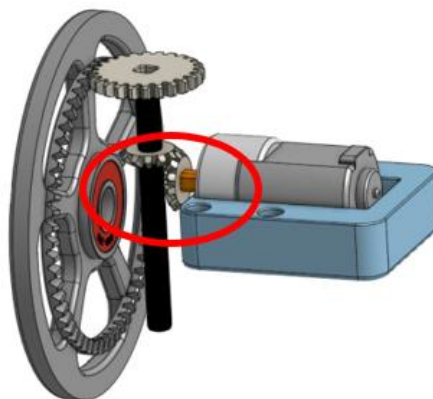


圖 13.滑桿構造示意圖

上圖紅圈中的斜齒輪可以隨著滑軌滑動解決在震動時傳動的問題。

七、現有設計

表 2. 現有設計參考表

米其林輪胎設計  The diagram shows a cross-section of a Michelin Active Wheel. Labels include: Disque de frein / Brake disk, Moteur électrique de traction / Electrical drive motor (Puisance permanente 30 kW / Continuous power: 30kW), Moteur électrique de suspension / Electrical suspension motor, Ressort de suspension / Suspension spring, Etrier de frein / Brake caliper, and Suspension active intégrée / In-wheel active suspension.	優點: 懸吊與車輪接在輪內 缺點: 無法解決簧下質量、馬達受衝擊等問題
現代汽車設計  The image shows a Hyundai car wheel assembly. A scale bar indicates 150mm. The assembly includes a hub, suspension components, and a brake disc. Text at the top reads 'UNIT REEL', 'KOE 0000 0.17', and 'HYUNDAI MOTOR GROUP'.	優點: 懸吊裝置在輪內、傳動系統不直接受到路面衝擊影響 缺點: 和第三代模型一樣會出現速比問題
配備懸吊腳踏車輪設計  The image shows two bicycle wheels with integrated suspension systems. The wheels have a black frame and blue suspension components. The text 'SUSPENSION' is visible on the blue parts.	優點: 懸吊裝置在輪內、結構簡單輕便 缺點: 車輪剛性不足、不適合汽車使用

柒、第五代模型設計與製作

一、草圖

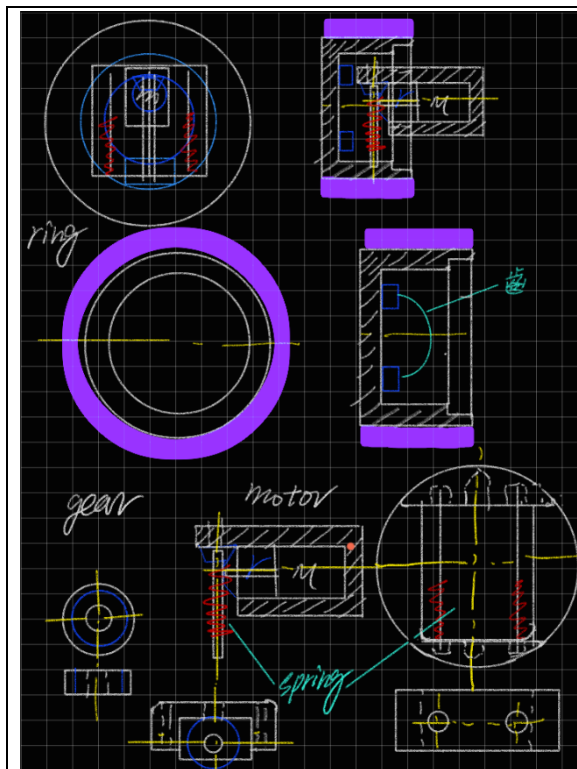


圖 14.手繪草圖

左側是起初開始進行設計時我們先手繪的草圖，我們將主要結構分成內輪框(下圖 3)、外輪框(下圖 2)、馬達(下圖 1)等部分。馬達動力藉由斜齒輪(下圖 G1、G2)將傳動方向轉呈垂直，在藉由冠狀齒輪(下圖 G3)再次改變傳動方向。在震動過程中，馬達會固定於車體上、內輪框與外輪框隨著路面震動，其中內輪框上有 4 根滑桿和 1 根傳動軸，在穩定輪框的同時讓車輪保有上下自由度。

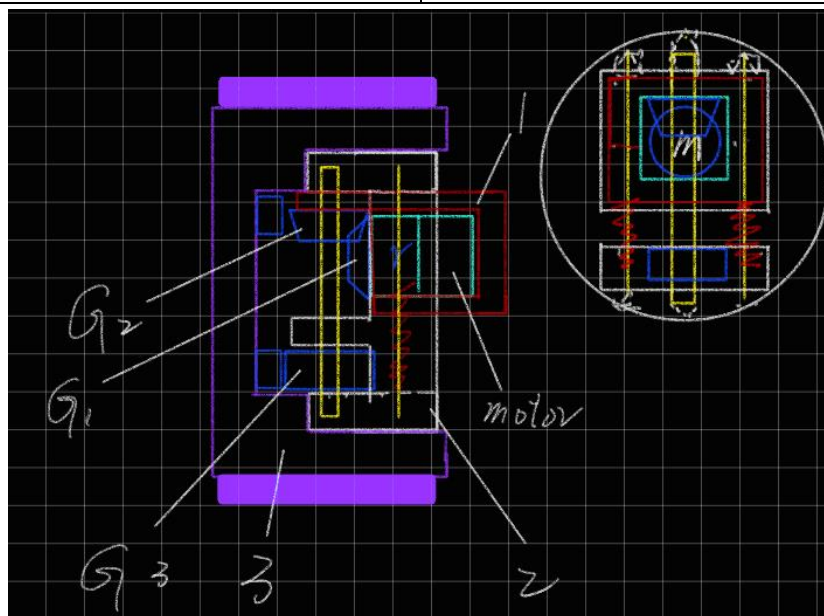


圖 15.手繪草圖

二、參數化設計與 2D 工作圖

我們使用 onshape 繪製工作圖，指定各部位規格與長度關係，並設成變數，以便後續設計各種模型使用。用下圖對照表格中的變數，產出後續 3D 圖檔。

1. 內輪框

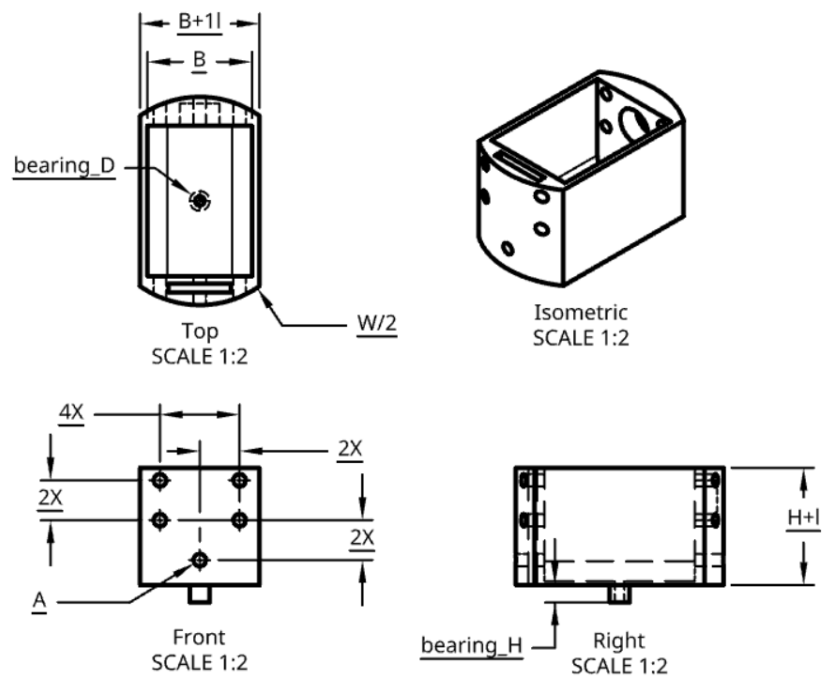


圖 16.內輪框工作圖

表 3. 內輪框參數表

Name	Value	Description
W	83.5mm	直徑
H	44mm	高度
l	3mm	最小間距
A	5mm	滑桿、傳動軸直徑
x	8mm	滑桿之間間距
B	42mm	馬達空間
gear_D	25mm	齒輪直徑
gear_H	3.5mm	齒輪齒寬
bearing_D	8mm	軸承內徑
bearing_H	7mm	軸承寬度
screw_D	3.78mm	螺絲外徑
spring_D	16mm	彈簧外徑
spring_H	9mm	彈簧下沉高度

2. 外輪框

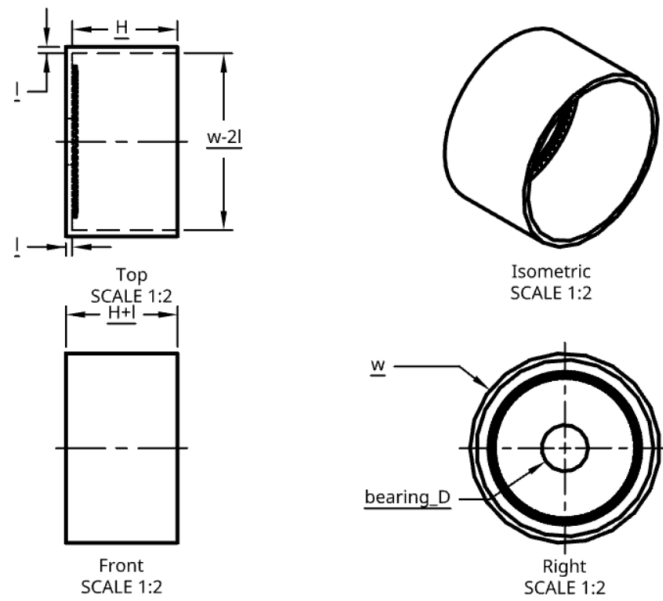


圖 17.外輪框工作圖

表 4. 外輪框參數表

Name	Value	Description
t	68	齒輪
M	1	模數
bearing_D	22mm	軸承外徑
l	3mm	間隙
W	90.1mm	輪徑
H	50mm	輪寬

3. 滑桿

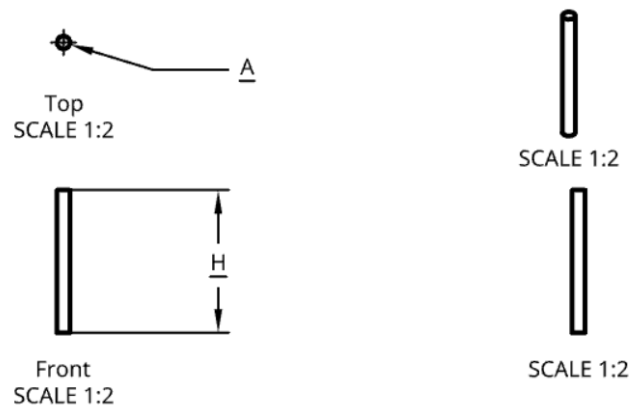


圖 18.滑桿工作圖

表 5. 滑桿參數表

Name	Value	Description
A	4.8mm	軸徑
H	73mm	長度

4. 正齒輪(24 齒)

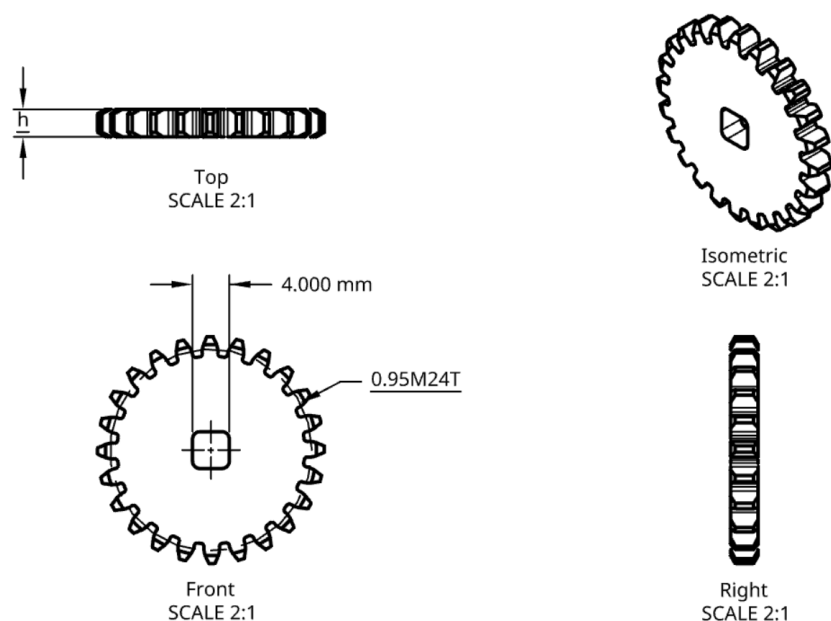


圖 19.齒輪工作圖

表 6. 齒輪參數表

Name	Value	Description
t	24	齒數
M	$24/t-0.05$	模數
h	3mm	尺寬

三、 3D 立體圖

我們使用 onshape 依照設計圖概念繪製機構零件圖，經過微調後，再搭配 lego studio2.0 設計馬達傳動組作為動力來源，下表為主要零件 3D 立體圖。其中馬達傳動組在後續為了維持車體剛性並未使用 lego 零件製作，而是雷射切割壓克力板再用螺絲鎖上

表 7. 3D 零件表

馬達傳動組	內輪框	1M24T 正齒輪	0.95M68T 外輪框
馬達搭配斜齒輪將傳動方向轉成垂直	使輪框穩定，支撐輪胎主體	將垂直傳動軸的動力傳達給外輪框	內部是 68 齒冠狀齒輪，外部包覆胎皮

四、 組合模擬

以下是我們的設計組裝流程，與實際組裝順序與模擬情況還是有些許誤差，在實際組合時

還有添加彈簧、壓克力板、螺絲等零件固定。

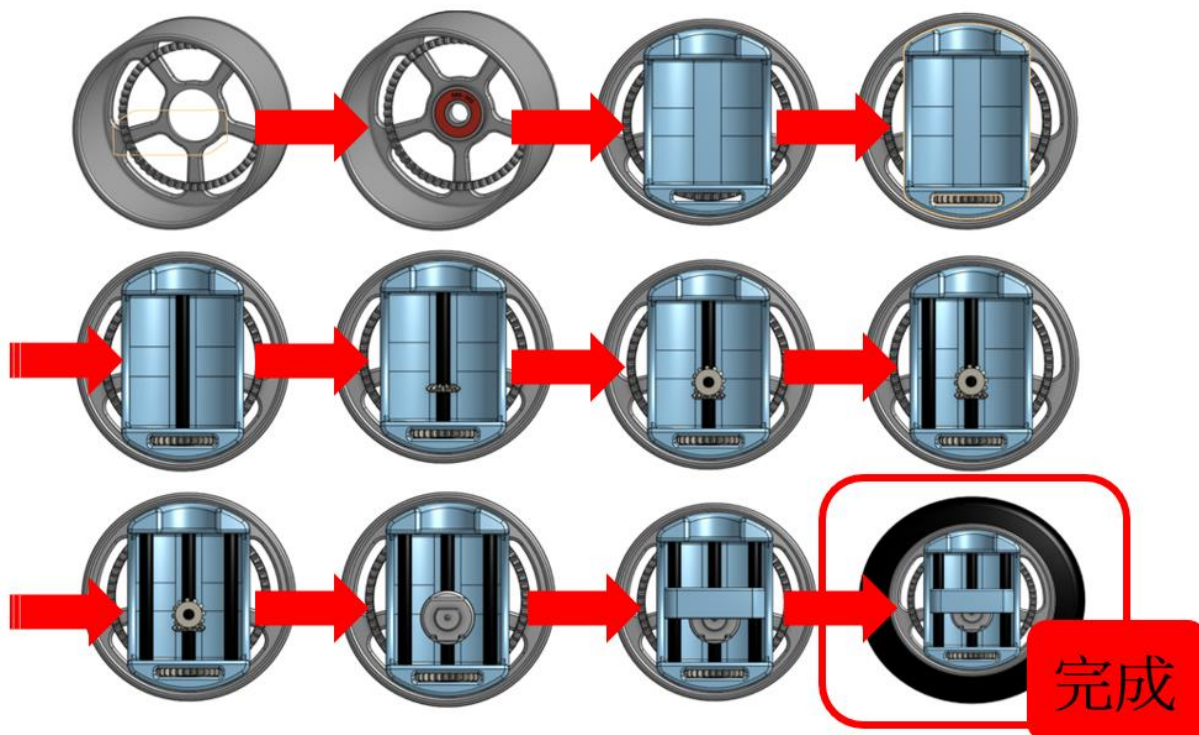


圖 20.組合圖

- | | |
|----------------|---------------|
| 1. 外輪框 | 2. 組裝 608Z 軸承 |
| 3. 組裝內輪框 | 4. 放入 24 齒齒輪 |
| 5. 裝配傳動軸 | 6. 裝配滑動斜齒輪 |
| 7. 裝配與馬達結合之斜齒輪 | 8. 裝配左側兩根滑桿 |
| 9. 裝配右側兩根滑桿 | 10. 組裝馬達 |
| 11. 放入馬達支撐架 | 12. 結合胎皮 |

機構組裝完成圖

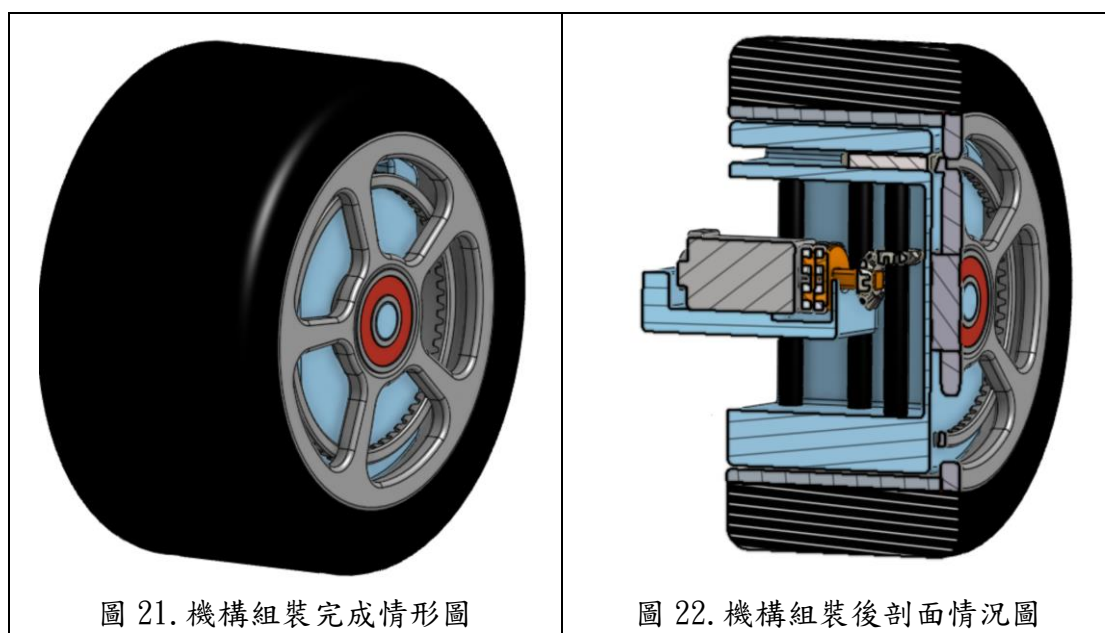


圖 21. 機構組裝完成情形圖

圖 22. 機構組裝後剖面情況圖

五、 3D 運作模擬

1. 上下震動

透過 4 根滑桿使輪框可自由上下移動，其中馬達與車體連接與震動隔絕。

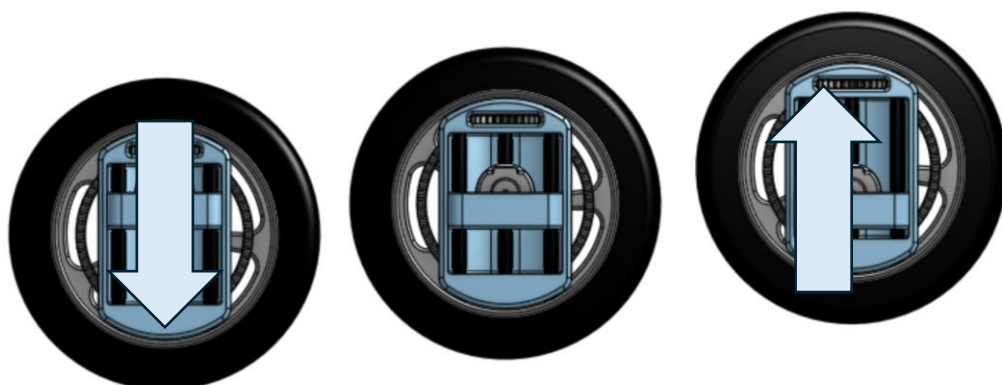


圖 23. 機構震動示意圖

2. 動力傳達

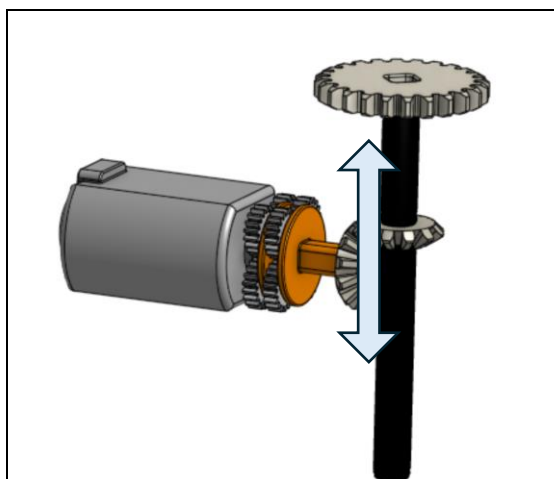


圖 24. 傳動滑桿圖

馬達動力經過行星減速機後透過斜齒輪將傳動軸打直，透過栓槽鍵的結構讓斜齒輪在傳動同時可上下滑動。

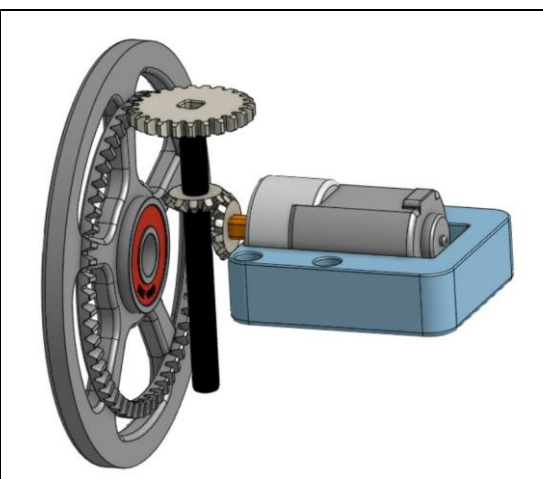


圖 25. 動力傳遞圖

垂直的傳動軸帶動齒輪並再將動力傳達給輪框上的冠狀齒輪。

六、 實體零件與相較於第四代的改進

1. 主要實體零件

按照 3D 立體圖經過調整後，我們決定使用 PLA 線材 3D 列印製作主要零件，再搭配 608Z 軸承、碳纖維滑桿、馬達、彈簧、螺釘。

表 8. 零件表(零件圖實體照片請見附錄)

M0.95T24 正齒輪	內輪框	M0.95T68 冠狀齒輪外輪框
馬達	碳纖維滑桿	彈簧外徑 16mm 自由高 24mm
608Z 軸承	少許樂高部件	螺釘

2. 胎皮製作

使用 TPU 線材 3D 列印製作胎皮，與原先防滑墊製作的胎皮相比更加耐用穩定，且接近真實車輛。

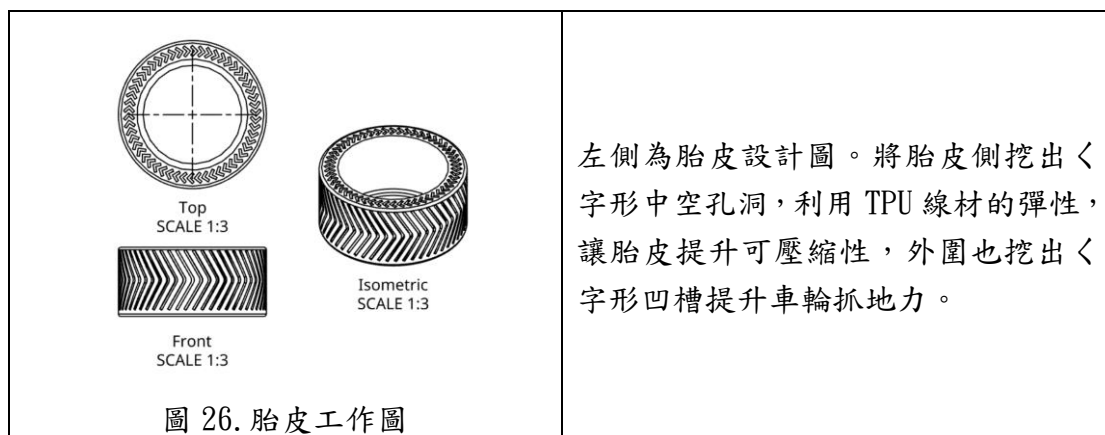


圖 26. 胎皮工作圖

原始輪胎

新版輪胎

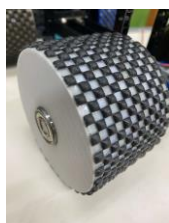


圖 27. 第四代胎皮圖

圖 28. 第五代胎皮圖

3. 電池優化



圖 29. 電池改進圖

4. 車架優化

第四代車體因為剛性與穩定性不足，再加上需要使用大量零件製作，經過綜合考量我們決定使用壓克力板製作一體化的車架。

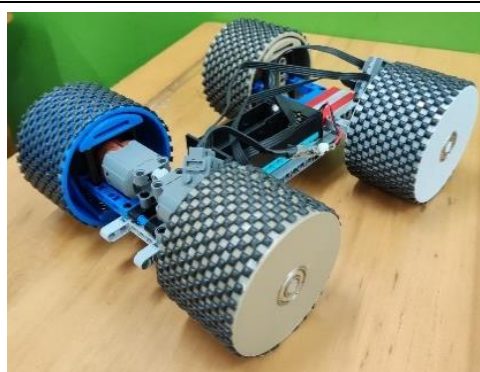
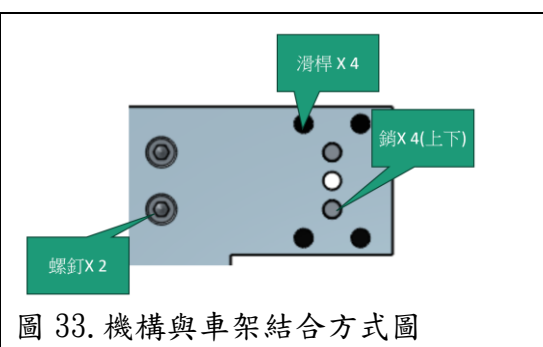
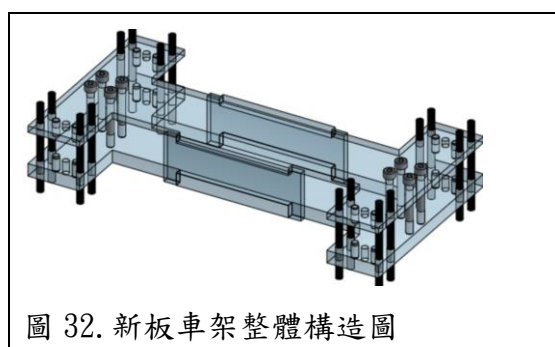


圖 30. 第四代車架圖



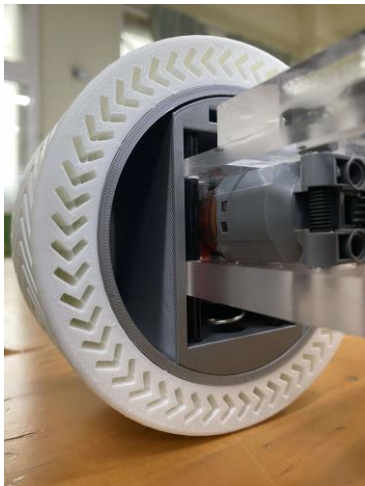
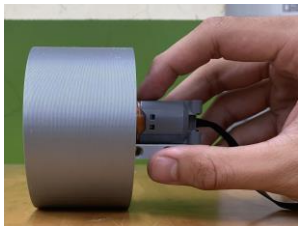
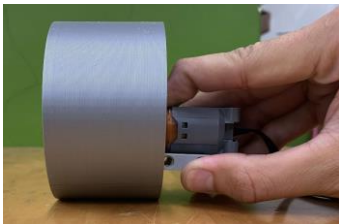
圖 31. 第五代車架圖

以下新版車架使用雷射切割壓克力板再使用銷與螺釘固定，可以直接結合我們設計的機構。



七、實體模型情況

表 9. 實體模型參照表

模型正面	模型背面
	
模型內部	與車體組合情況
	
彈簧壓縮前後比較	
壓縮前	壓縮後
	

捌、實驗方法

一、車輪重量測量與簧下質量計算

實驗目的：

因為重量影響車輛加速性能，所以我們決定比較我們的裝置與一般車輪相比的差距

實驗方法：

使用電子秤測量我們設計的機構質量與分別零件質量，並與一般車輪質量比較。接著計算簧下質量與對照組比較，再將數據對比一般輪內電機簧下質量情況，驗證我們的裝置能改善輪內電機問題。



圖 34.測量過程示意圖

數據分析：

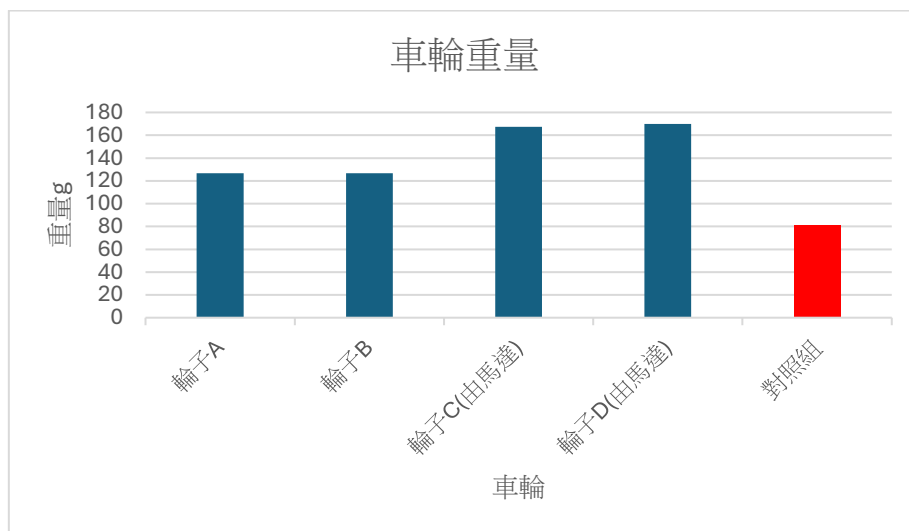


圖 35. 車輪重量比較圖

表 10. 車輪重量表

車輪代號	重量 g	平均	相較對照組重量%
輪子 A	126.7	126.4	155.6511057
輪子 B	126.1		
輪子 C(有馬達)	167.3	168.65	207.1867322
輪子 D(有馬達)	170		
對照組	81.4	81.4	100

- 未加裝馬達的平均重量：126.7g，相較對照組多出 55.7%重量
- 加裝馬達的平均重量：168.65 g，相較對照組多出 107.2%重量 $168.65 - 81.4 = 87.25$ g
加裝馬達的輪胎的平均重量為 168.65g 減去簧上重量 51.76g 後為 115.54 g（大約比對照

組多 42%簧下質量)，而根據參考資料(1)計算出 18 吋輪內電機簧下質量約比一般車輪多 97.3%，所以我們的裝置確實能減少降低不少(約 55%)的簧下質量。

實驗結果：

重量是影響車輛加速的重要因素，我們設計的车輪加上懸吊系統與馬達質量大概會是對照組輪胎的兩倍。雖然兩倍的質量看上去高出許多，但整組裝置包含動力與懸吊，所以使用時還是可以省下不少重量。另外因為我們模型較小，所以大多零件使用 3D 列印打造，實際情況還是會因成品使用材料有不少關係。

二、 機構摩擦與轉動慣量測量



圖 36. 轉動時間測量示意圖

實驗目的：

因為摩擦會造成能量耗損，所以我們決定比較製作出的機構摩擦，同時計算我們輪胎使用的體積和轉動慣量。

實驗方法：

先計算出輪胎的體積與轉動慣量，接著再使用馬達旋轉車輪至固定轉速，並在將馬達外力移開後用手機計時直到停止，最後時間推算機構摩擦力。

數據分析：

車輪相關數據表請見附錄

首先計算出輪胎圓柱體積，與內部空心體積 $\frac{1}{4}D^2 \times \pi \times h = V$ 。

接著用體積差除質量算出密度 $\frac{(V_1 - V_2)}{M} = d$ 。

車輪體積數據表請見附錄

然後我們將輪胎分成大、小兩圓柱體(整顆輪胎與空心部分)並計算質量，並搭配輪胎半

徑計算出轉動慣量 $d \times \frac{1}{2} \left(\frac{V_1}{4} D_1^2 - \frac{V_2}{4} D_2^2 \right) = I$ 。

車輪轉動慣量數據表請見附錄

輪胎轉動慣量： $8.77821\text{E-}05 \text{ kg} \times \text{m}^2$ (我們的機構與對照組輪胎數據相同，且輪胎上幾乎沒有增加影響轉動慣量的機構所以在做摩擦計算時使用相同數值)，輪胎體積： $4.522807\text{E-}05 \text{ m}^3$

表 11. 數據計算表

轉動慣量 $\text{kg} \times \text{m}^2$	8.77821E-05	I
馬達轉速 rpm	720	N
馬達轉速 rps	12	n
實驗組停止時間 s	8.09	t_1
對照組停止時間 s	7.17	t_2

首先我們使用由以上數據計算出的馬達轉速轉換成角速度 $\frac{N \times 2\pi}{60} = W$ ，接下來再用初始

角速度與停止時間計算出角加速度在乘上轉動慣量求出機構摩擦力矩， $\frac{W}{t} = \alpha$ 、 $I \times \alpha = T$ 。

表 12. 角速度與摩擦力矩數據表

角速度 rad/s	75.36	W
角加速度 rad/s^2	9.315203956	α
對照組摩擦力矩 $\text{N} \cdot \text{m}$	0.000817709	T
實驗組摩擦力矩 $\text{N} \cdot \text{m}$	0.001086	T

- 摩擦力矩：0.000817709 $\text{N} \cdot \text{m}$
- 實驗組摩擦為對照組的 132.7950628%

實驗結果：

我們的實驗組和對照組基本上體積與轉動慣量數據一樣，但因為中間內輪框額外加上小齒輪組所以摩擦力矩會大一點(約 33%)，但基本上對傳動沒有影響。如果使用精度更高的機器製作齒輪，摩擦應該會有所改善。

三、 最大上下幅度測量

實驗目的：

測試車輪最大上下幅度了解我們設計的懸吊裝置可以應付多大的路面起伏。

實驗方法：

將車輪架高固定並用鋼尺測量高度，再對車輪施力，讓彈簧完全壓縮後再次測量高度，並從數據中推算車輪上下幅度。

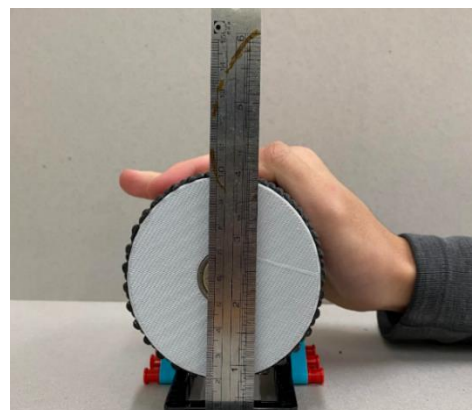


圖 37. 上下幅度測量示意圖

數據分析：

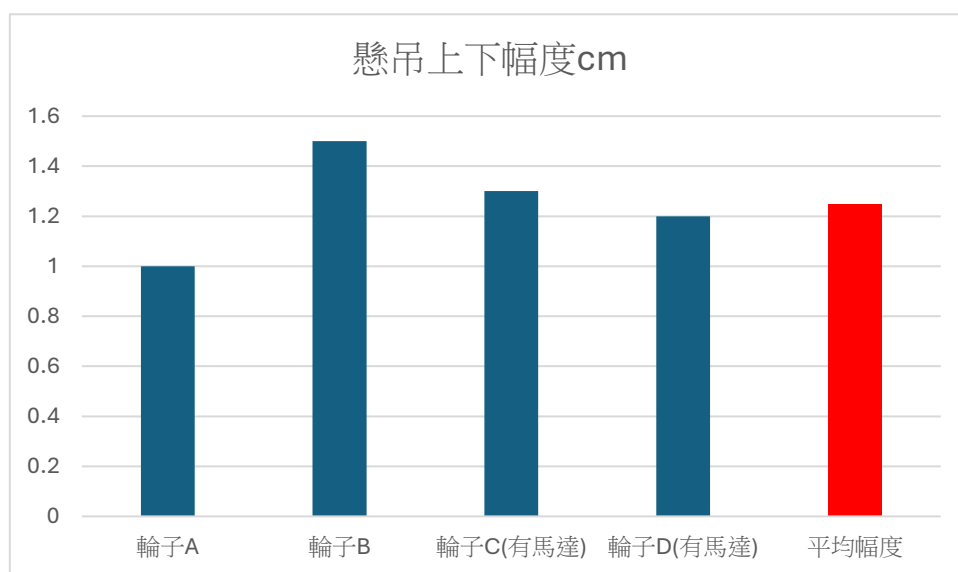


圖 38. 車輪上下幅度數據圖

表 13. 車輪上下幅度數據表

車 輪	懸吊上下幅度 cm
輪子 A	1
輪子 B	1.5
輪子 C(有馬達)	1.3
輪子 D(有馬達)	1.2
平均幅度	1.25
標準差	0.2081666
機構製作誤差(%)	16.653328

- 平均幅度： 1.25cm
- 機構製作誤差： 16.653328%

實驗結果：

我們平均上下幅度為 1.25 cm 大約是 $\frac{1}{8}$ 的輪胎高度，如果能有越高的輪胎上下幅度，根據能量守恆 $Fx = \frac{1}{2}mV^2$ 就能降低彈簧常數，進而降低瞬間衝擊力。而如果一般懸吊系統上下幅度要達到輪胎的 $\frac{1}{8}$ 就必須要有夠長的懸臂長度，因為上下幅度 $H = L\sin\theta$ 。將萬象接頭順暢傳動的角度範圍 5 度帶入，18 吋的車輪需要 $\frac{2.54 \times 18}{8 \times \sin 5^\circ} = 65.6\text{cm}$ 的懸臂長也就是 656mm。而在輪距 1500 mm 的車輛中兩側懸吊懸臂長就佔了 1312 mm，約 87%輪距，完全不可能實現。

四、 掉落衝擊測試



圖 39.實驗過程圖

實驗目的：

測試車輪遇到路面衝擊時的減震效果，由此驗證我們的機構確實有效。

實驗方法：

(一) 將車輛抬至不同高度(1~5cm)，接著釋放讓他自由落下，用 phyphox 測量並將加速度數據至做成圖表，並且使用 excel 將圖形疊合比較加裝上我們設計的機構後的效果，最後推測出衝擊能量與緩衝效果的關係。

(二) 將車輪提高至指定高度(5cm)處並加裝約 700g 的配重，接著讓車輛自由落下並錄製影片，使用 Tracker 分析影片，捕捉車輛震動情形。

實驗結果

從以上實驗我們可以得知主要衝擊還是來自於 Z 軸(上下)，所以還需要對 Z 軸進行緩衝，才能增加減震效果。

(一) 瞬間衝擊加速度峰值

使用 phyphox 加上 excel 疊合後的時間速度變化關係圖，其相關詳細之實驗數據與結果

完整置於附錄 1，將其相關結果做成以下高度與加速度關係如圖 40 所示。

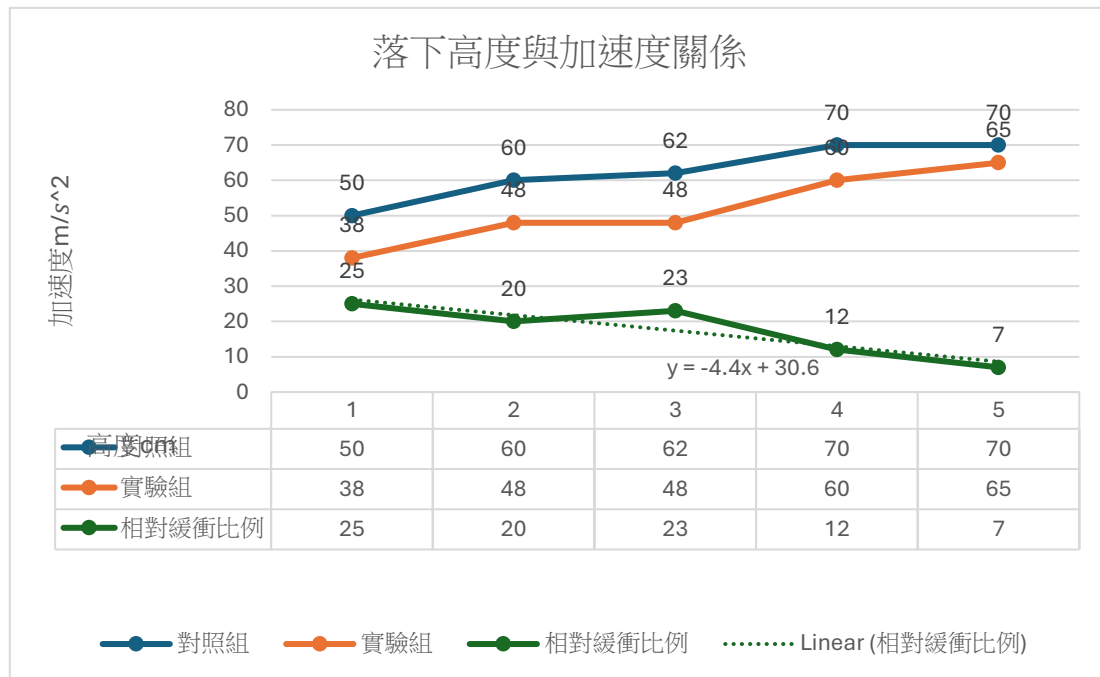


圖 40. 高度與加速度關係圖表

上圖表中瞬間衝擊力量大小用手機質量(260g)、上配種鐵塊質量(400g)、全車質量(780g)計算而成 $F = ma$ ， $m = 260 + 400 + 780 = 1440g = 1.44kg$ 。

接下來由以上圖表的峰值整理出以下關係。

實驗結果：

我們可以從上表我們收集的數據可知當衝擊能量(由位能 $hmg = E$ 得知)越大，衝擊力($F = ma$ ， $m = constant \rightarrow a \propto F$)越大，但衝擊緩衝比例卻和衝擊能量成反比(僅限在我們收集的數據範圍衝擊能量(x)與緩衝比例(y)趨勢成($y = -4.4x + 30.6$)關係)。我們推測在上一個實驗中衝擊緩衝比例一直不是很高的主因是我們給的衝擊能量實在太高，實驗中我們增加了車重的 85%，且讓車輪離地面相當於 62.5%的輪高，所以彈簧不足以緩衝瞬間衝擊。

(二) 衝擊當下與後幾秒的位置、速度、加速度關係。

(以下數據由手機攝影機並使用 Tracker 分析製作)

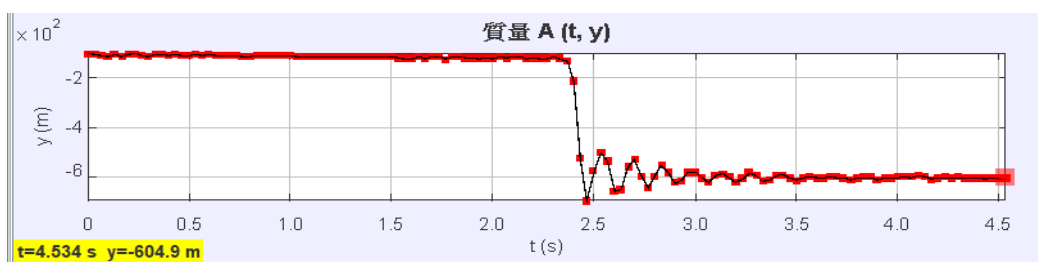


圖 41. 時間位置關係圖

將上方表擷取碰撞瞬間後製作成以下圖表。

由下表可知震幅雖然隨時間變小(下圖中藍色曲線)，但要是能增加阻尼，效果應該更好。

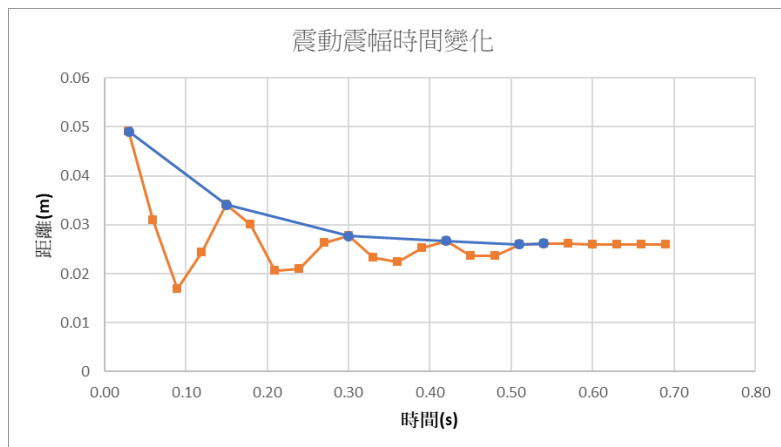


圖 42. 位置時間關係圖

以上圖表經過對於時間的一次微分後 $\frac{dx}{dt} = V$ ，變成以下圖表。

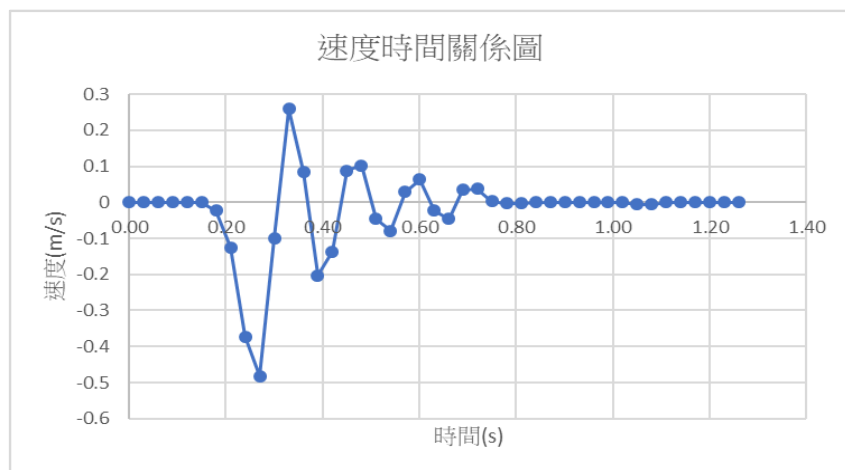


圖 43. 速度時間關係圖

以上圖表再經過對於時間的一次微分後 $\frac{dv}{dt} = a$ ，變成以下圖表。

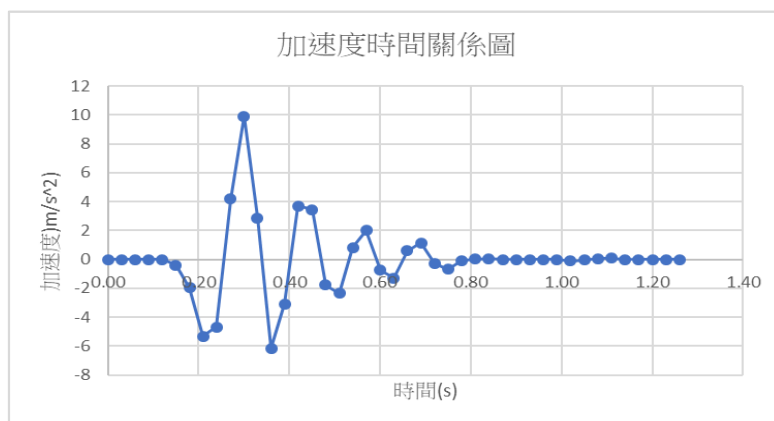


圖 44. 加速度時間關係圖

從以上幾個圖表推測衝擊後的運動是有 exponential decay 的 SHM。

實驗結果：

從以上圖表可以看出實驗組受衝擊後的運動情形是震幅有 exponential decay 的 SHM，所以雖然說我們並沒有加上阻尼但模型使用的彈簧不是理想彈簧所以震幅還是有衰減的情況出現。然而再面對大負重的情況下加裝阻尼後的效果，理論上應該才會比較有效。

五、 過檻測試單輪旋轉測試

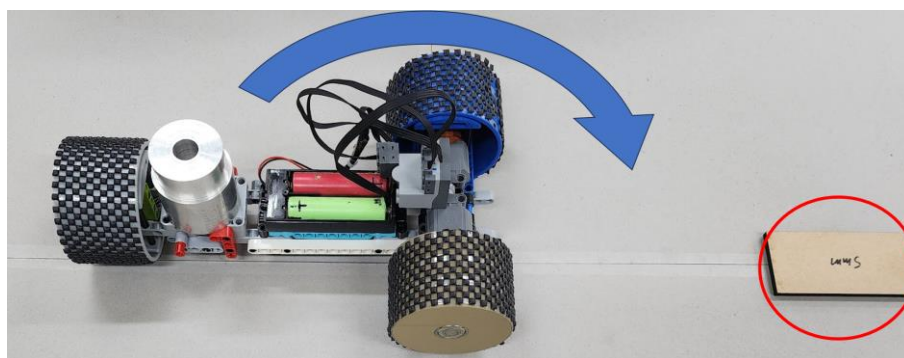


圖 45. 震動測試示意圖

實驗目的：

比較加裝上我們的減震裝置前後車輛受的震動影響。

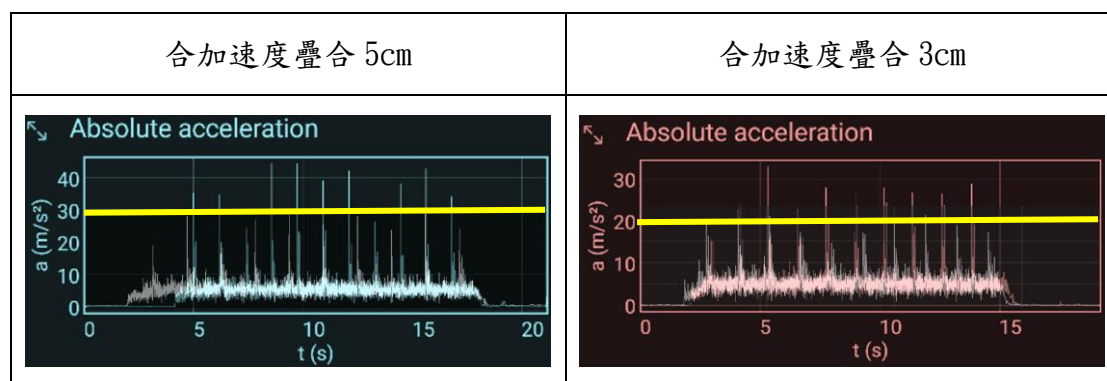
實驗方法：

(一) 製作原地自轉的測試裝置，讓同一車輪不斷開過不同高度的木板，接著使用 phyphox 將通過木板 10 次的加速度數據做成圖表，最後使用 excel 將圖形疊合，比較減震效果。使用不斷旋轉的方式才不需要設計非常長的軌道，且下一次震動不容易影響上次的數據。

數據分析：

過不同高度的檻的數據比較

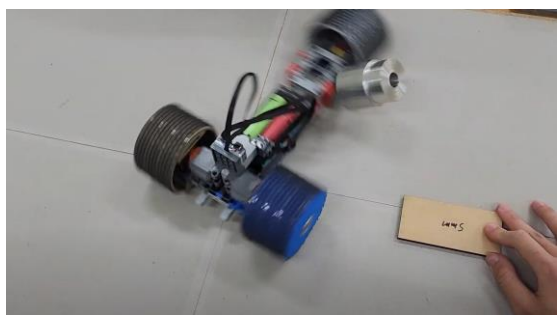
表 14. 數據分析表(尚未疊和數據請見附錄)



實驗結果：

同加速度疊合圖中無論是 3mm 或 5mm，我們的裝置確實都有降低衝擊。此外我們也發現如果我們沒有刻意固定配重，就會發現如下表中的情況，沒有任何減震效果時，實驗過程中配重很容易因為車輛震動而脫落，有此進一步證明我們的裝置有效果。

表 15. 有無避震對車體影響實驗表

實驗組	對照組
	
10 圈以上	4~0 圈

實驗結果：

實際測試中我們的裝置確實可以減少瞬間的路面衝擊力，防止車上重物掉落，所以我們的裝置理論上應能保護車體零件與電機並提升車輛穩定性。

六、裝置搭配不同彈簧經過減速帶時受到影響

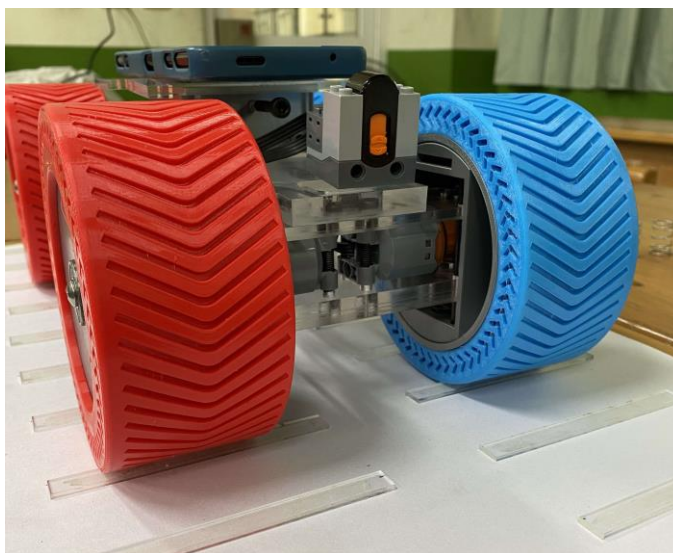


圖 46.減速帶實驗過程圖

實驗目的

實際模擬車輛行駛時的情況，比較我們的機構使用波彈簧、壓縮彈簧、未加裝彈簧車輛的差別。

實驗方法

依照輪胎比例與等比製作縮小版減速帶模型當作測試軌道。分別製作波彈簧、壓縮彈簧等車輛，使用不同車輛行駛並使用 phyphox 收集車體上不同軸向的瞬間加速度數據。輸出成 excel 表格製作成圖表並在刪除最大峰值後平均前五個峰值的數據進行比較。

數據分析

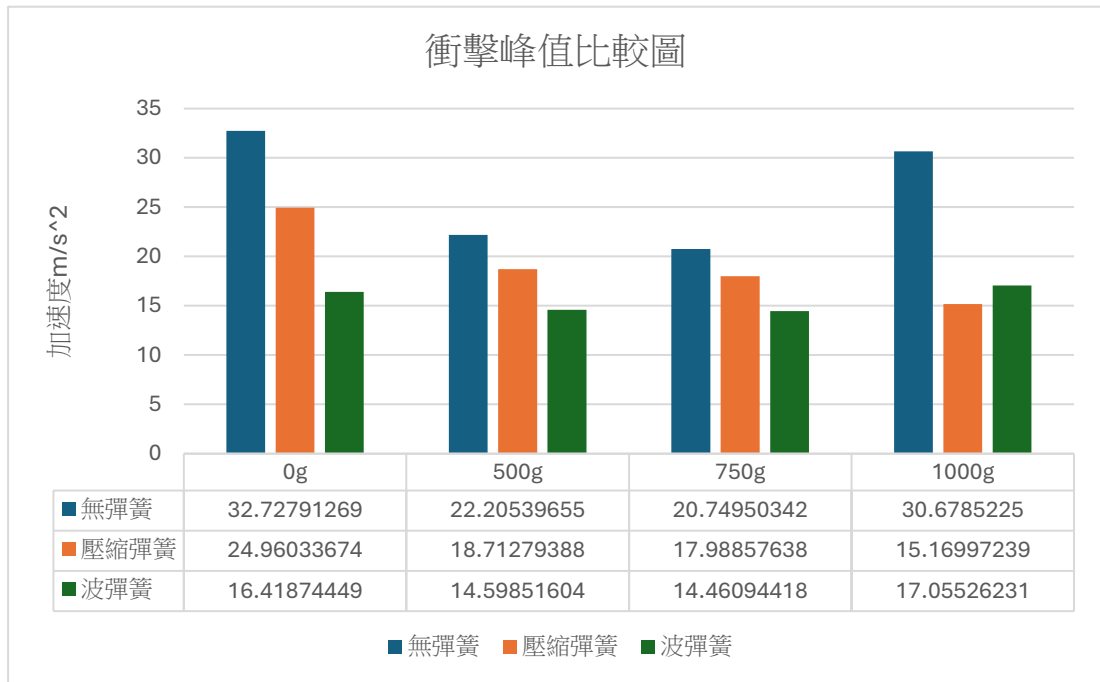


圖 47.減速帶實驗過程圖

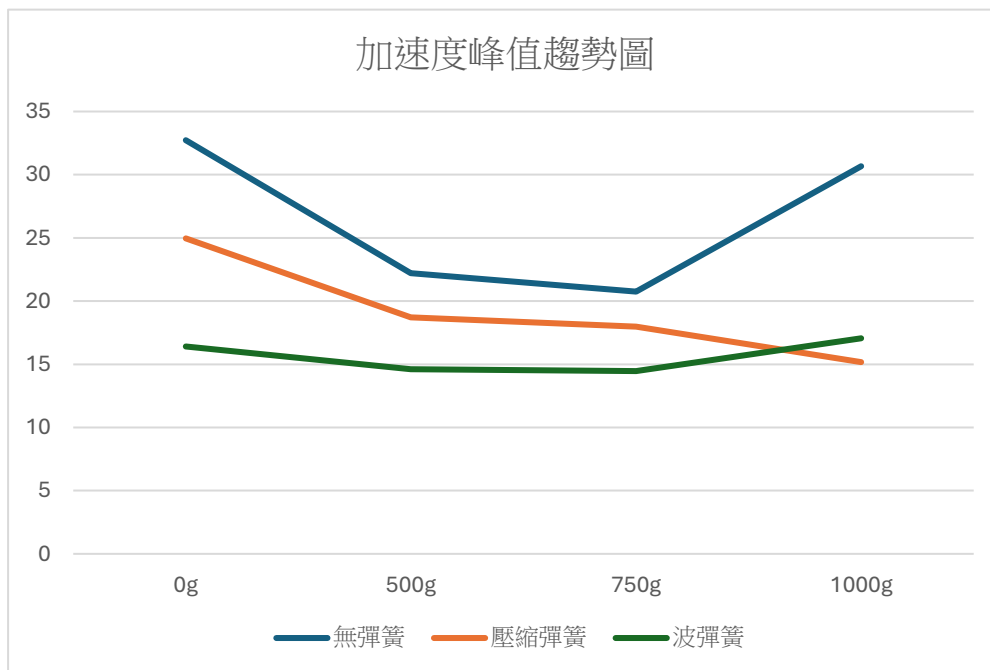


圖 48. 加速度峰值趨勢圖

不同彈簧經過減速帶測試加速度數據詳細圖表請見附錄

實驗結果

由以上數據可知，我們的機構確實有減震的效果，且安裝波彈簧可以使我們的機構在不同的負重情況下皆有更穩定的表現。

七、裝置搭配不同彈簧經過大起伏路面加速度影響

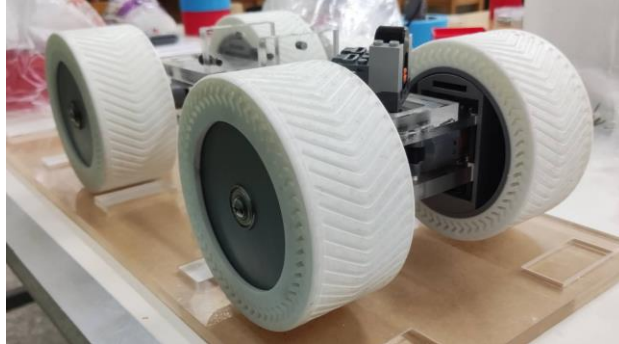


圖 49.大起伏路面實驗過程圖

實驗目的

實際模擬車輛行駛在大起伏路面時的情況，比較我們的機構使用波彈簧、壓縮彈簧、未加裝彈簧車輛的差別。

實驗方法

將車輛在負重 1000g 的情況下行駛自大起伏了路面，使用 phyphox 收集數據，在疊合瞬間加速度進行比較。

數據分析

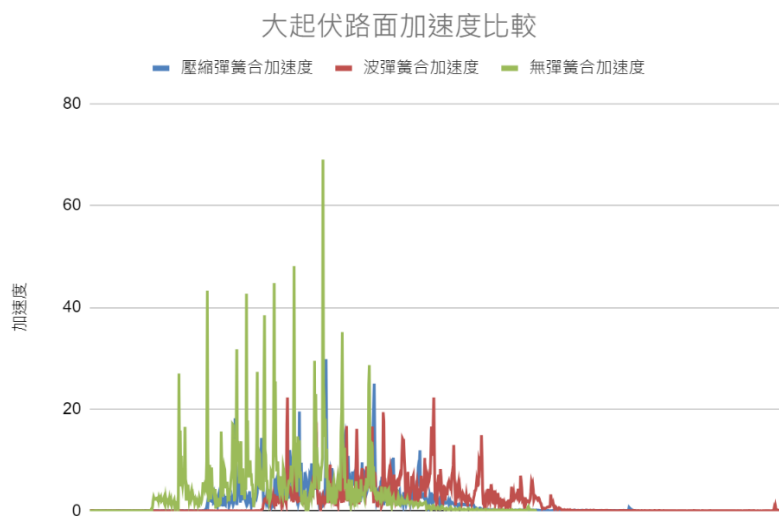


圖 50. 加速度比較圖(詳細數據請見附錄)

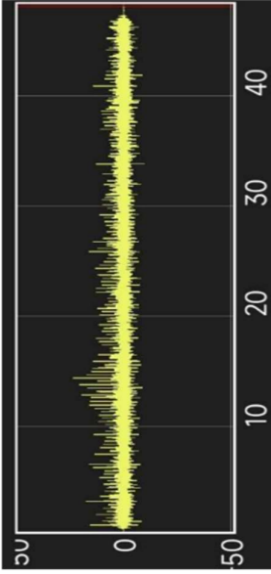
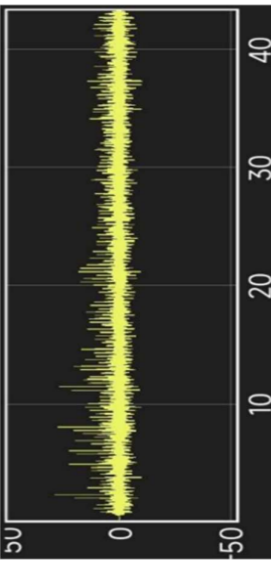
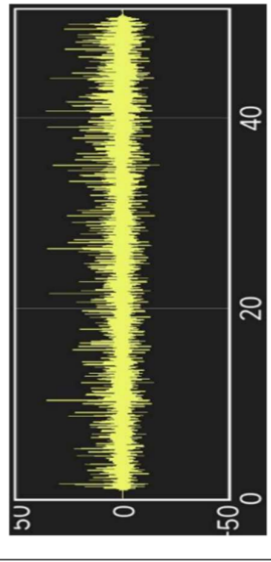
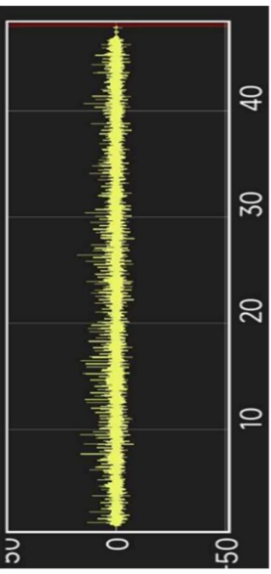
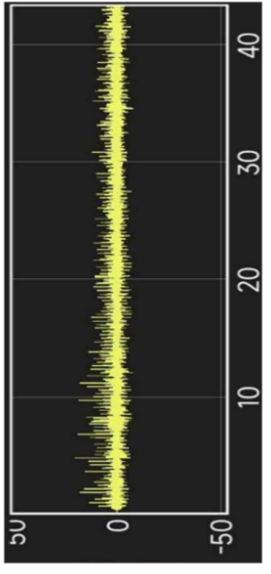
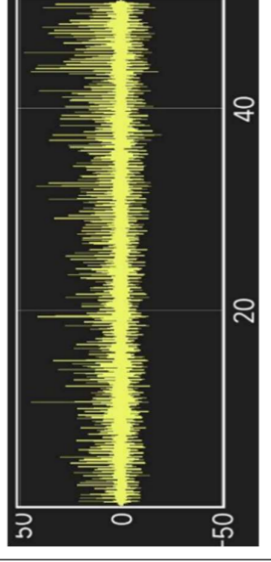
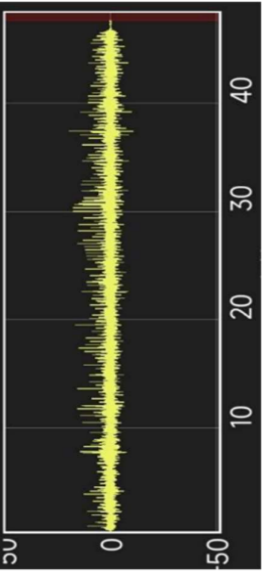
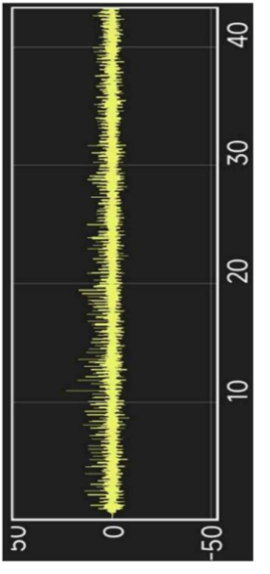
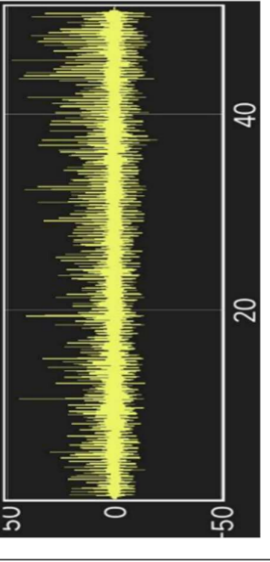
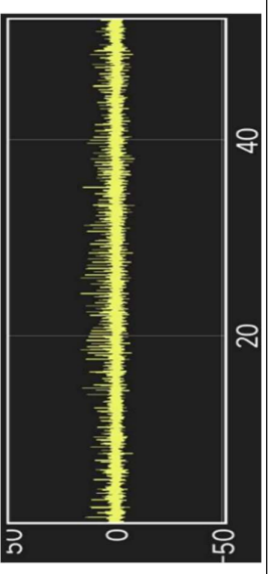
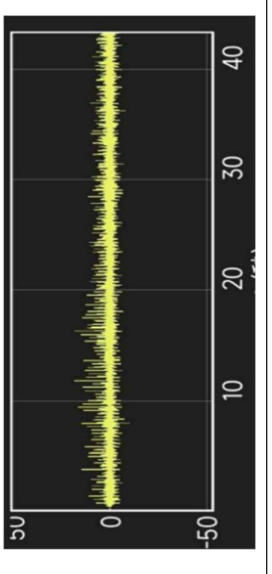
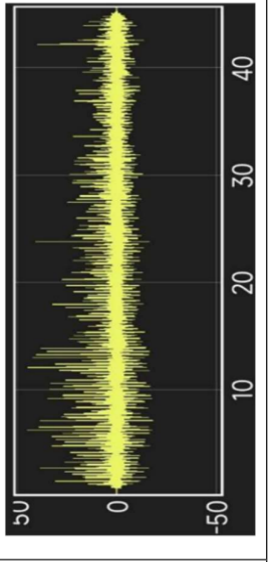
上圖中藍色為壓縮彈簧，紅色為波彈簧，綠色為無彈簧。

實驗結果

經過此實驗可知使用彈簧後瞬間加速度明顯降低，且使用波彈簧相較壓縮彈簧穩定。

八、 實際路面行駛實驗

表 16. 實際路面不同避震條件與不同荷重震動曲線比對表

重量 g	波彈簧	壓縮彈簧	無彈簧
0			
500			
750			
1000			

玖、討論

- 一、將材料以金屬代替 PLA 列印材，以提高結構強度和使用壽命。
- 二、滑軌部分結合線性軸承降低機件間活動的摩擦使機構作動更順利。
- 三、除了彈簧再加上避震器使其更適合應用於現實車輛，透過阻尼緩解彈簧反覆晃動釋放能量，解決乘客不適的問題。
- 四、將機構結合轉向系統，使設計更為完整。
- 五、增加散熱裝置或冷卻系統，防止馬達溫度過高。

拾、結論

透過觀察目前市面上大部分汽車的懸吊設計，我們可以發現，其佔據了車體相當大的空間，零件的數量多，對零件的精密度也相當要求。這便造成了一組懸吊系統的成本偏高。因此我們設計了一款能放進輪框內的懸吊系統並且整體只有約 23 個零件，不僅體積縮小了，能使車輛設計時有更多的使用空間，更降低製造成本與維修調整的難易度。這樣的懸吊形式在搭配輪內電機的同時不但可以保護馬達、降低簧下質量，同時更加提高空間利用效率，讓享有輪內電機優勢的同時較不會受到輪內電機缺點的影响。

在設計結構時我們發現想要將普通的車輛懸吊放進輪框內並非易事，因為傳統汽車懸吊是利用平行四連桿機構配合兩個十字接頭將引擎的動力傳到輪子，若是想硬將連桿縮短放進輪框內，輪子的上下幅度將被縮小，且無法成功利用連接器傳動，所以我們捨棄了這種設計，轉向參考摩托車的懸臂避震，將鏈條傳動以齒輪替代，成功將機構放進輪框內，但因為結構穩定性與速比問題再次改良方案。在更進一步改良中，我們利用冠狀齒輪結合滑桿的設計改善因懸臂旋轉造成速比改變的問題以及利用增加滑桿改善結構單邊支撐而不穩固的問題。

我們設計的懸吊裝置可以有效減少馬達受到路面的衝擊，並擁有相較於一般輪內電機車輛更低的簧下質量。在使用我們機構的同時可以減少車身重量、增加傳動效率、減少使用零件。未來如果使用金屬材料製作模型，並增加適合的阻尼器與散熱裝置將可以更近一步提升實際應用時的可行性，讓我們的裝置更完善。

拾壹、未來應用

一、對於目前車輛之應用

目前車輛為了提升車輛性能常常使用渦輪增壓、機械增壓等方式增加引擎功率，來提升車輛馬力。但一般車輛改裝渦輪、機械增壓同時也會增加引擎負擔，因為原先引擎設計時可能並未考量到進氣經過增壓後的汽缸內爆炸的情形，此外機械增壓還需額外消耗引擎功率、渦輪增壓則有渦輪遲滯的問題。如果使用我們的裝置加裝在前驅車上，將可以提供車輛後輪額外馬力，同時無須消耗引擎功率也沒有渦輪遲滯的問題，並且因為從二輪驅動改

為四輪驅動，能夠優化車輛加速能力。就算已經有安裝引擎增壓的車輛也能夠使用我們的裝置增加額外馬力。如下圖所示就算在原先後輪沒有動力設計的車輛也能在下圖紅圈中車輪的位置增加我們的裝置得到額外驅動力，另外還能少去中間懸吊支架的空間，增加後車箱空間。

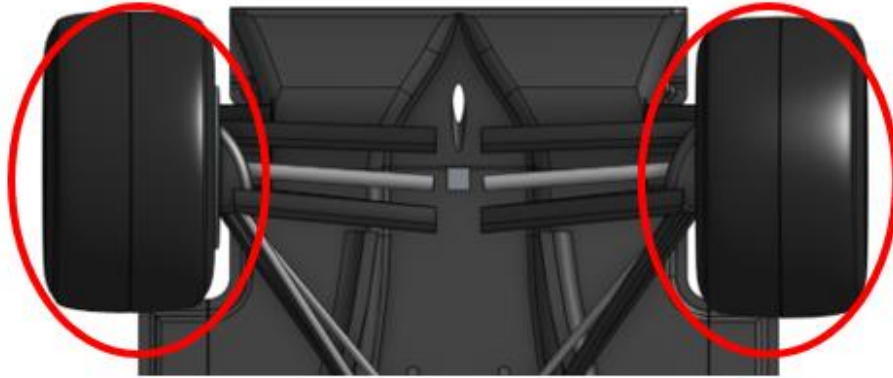


圖 51. 車輛後輪機構圖

二、對於後續車輛設計的影響

對於目前傳統車輛需消耗大量空間在傳動系統與懸吊系統上，使用輪內電機能夠節省傳動系統空間，同時因為少了齒輪箱、離合器與差速器等裝置，直接對車輪提供動力，大幅減少傳動損失，但同時也衍生出不少問題，我們的設計裝置將在車輛使用輪內電機節省大量空間降低傳動損失的同時也能確保電機不受震動影響提升壽命，並且一並省下懸吊系統使用空間。此外還具有降低車體重量、降低簧下質量等優點。未來汽車大廠因為環保趨勢，越來越多車廠投入電動車產業，我們的設計對於未來電動車發展將會有一定影響力。

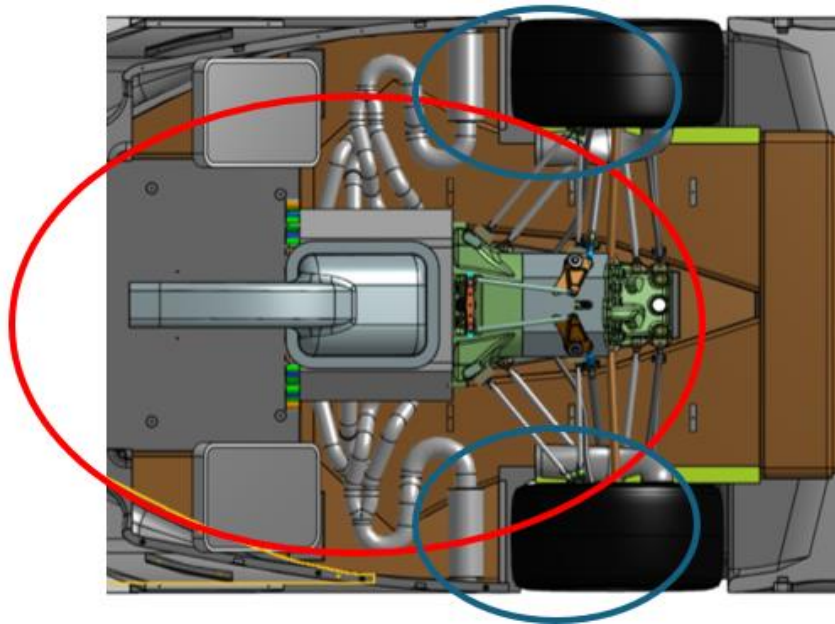


圖 52. 車輛傳動系統與懸吊圖

三、車輛以外的應用

日常活動時，常常遇到需要搬運重物或移動物品的情形，而我們的設計能夠直接加裝於需移動之物體，並自帶動力與避震系統，因為體積小且方便安裝的原因，並不需要大幅改動原物體的結構。

例如：

1. 將我們的裝置加裝於工作臺中，就在方便移動工作臺的同時也能防止震動。加裝位置如下圖紅圈中



圖 53. 工作桌圖片[14]

2. 將我們的裝置加裝於椅子或輪椅上，在為行動不便者提供輔助動力時還能減少震動，提升舒適性。在提供下圖紅圈中輪子動力的同時也提升穩定性和乘坐舒適度，保護使用者。



圖 54. 輪椅圖片[15]

3. 將我們的裝置加裝於大型容器下就可以方便搬運重量較重之物體，同時具有減震效果避免物體掉落發生意外。

拾貳、參考資料

1. 輪穀電機簧下重量問題及解決方案。

網址：<https://reurl.cc/mr4maj>

2. 技術解讀電動車輪穀電機原理, 潛力巨大但難以普及

網址：<https://reurl.cc/0jp0x3>

3. 壹讀網特斯拉是輪邊電機?別逗了 教你輕鬆搞懂輪穀電機/輪邊電機/集中式電機

網址：<https://reurl.cc/0jpZlv>

4. 輪穀電機和輪邊電機, 誰將主宰未來

網址：<https://reurl.cc/x605gV>

5. 知乎輪穀電機和輪邊電機, 誰將主宰未來?

網址：<https://zhuanlan.zhihu.com/p/50916311>

6. 輪穀電機技術是什麼 輪穀電機的優缺點分析。

網址：<https://kknews.cc/zh-tw/car/qzo6eb.html>

7. 一百年前就發明的輪穀馬達, 為什麼會是自動駕駛的終極標配

網址：<https://reurl.cc/x6LX7z>

8. 外轉子馬達

網址:<https://reurl.cc/G460m3>

9. 內轉子馬達

網址:<https://reurl.cc/778mrk>

10. Brick Technology Lego Motorcycle Suspension testing Device

網址：<https://reurl.cc/6QvlZ5>

11. 動手入門 Onshape3D 繪圖到機構製作含 3D 列印工程師認證

12. 扭力樑懸吊 vs 多連桿懸吊 究竟有多大的差別?

網址：<https://www.carnews.com/questions/227693>

13. 麥花臣懸吊 v.s 雙 A 臂懸吊, 車輛必備的「功底」

網址：<https://www.carnews.com/nocategorized/224613>

14. 工作桌

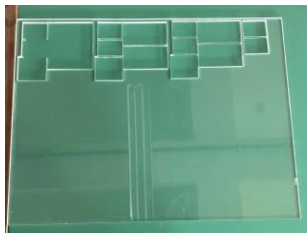
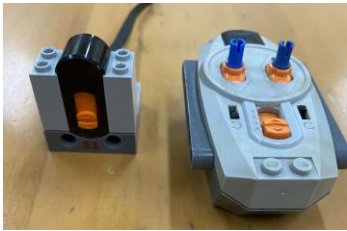
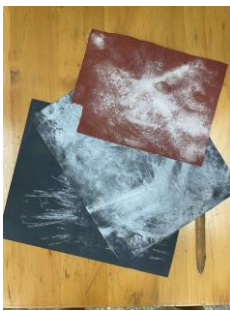
網址：<https://reurl.cc/nr8d2n>

15. 輪椅

網址：<https://reurl.cc/v0Z02a>

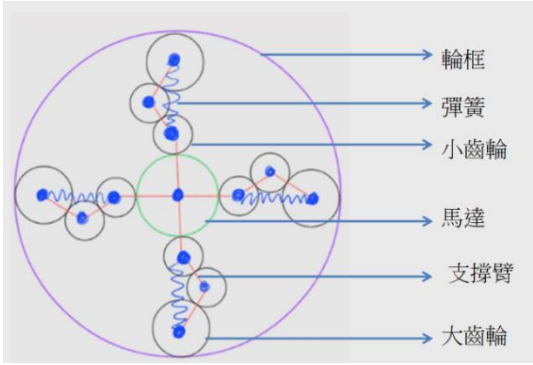
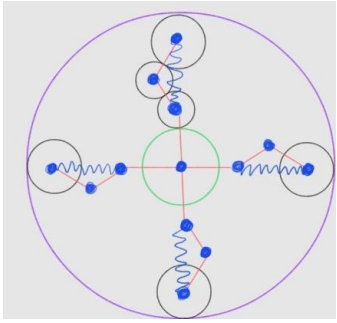
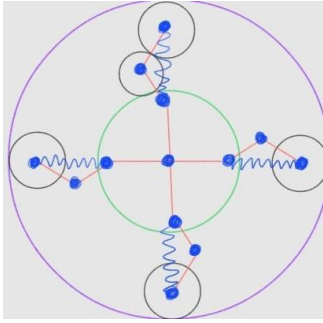
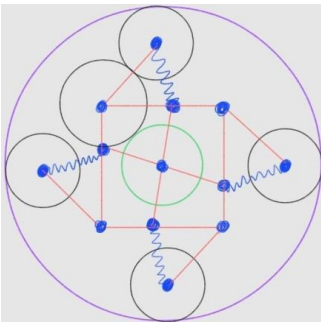
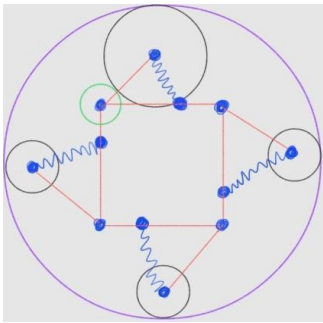
拾參、附錄

一、 研究器材

3D 列印機	雷射切割機	3D 列印線材	壓克力板
			
彈簧	軸承	碳纖維棒	馬達
			
樂高零件	電池	遙控器與接收器	螺釘
			
測試軌道	電子秤	配重塊	機油
			
砂紙	砂輪機	三秒膠	T 插接頭
			

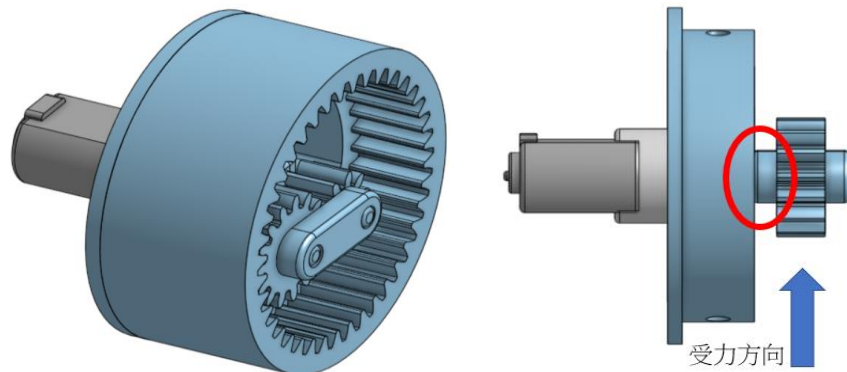
靈敏鑽床	六角板手	游標卡尺	
			

二、 初代草圖

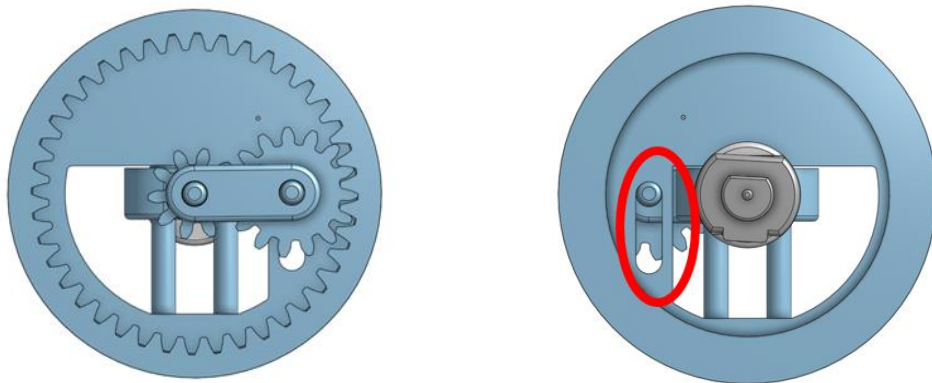
	將馬達放中間，經三顆齒輪傳動至輪框。使用彈簧向外撐開將齒輪框架撐開，在輪框震動時懸臂摺疊改變間距，並藉由彈簧吸收震動。
二代草圖 	三代草圖 
懸臂摺疊時齒輪速比會改變，造成齒輪磨損。所以我們不提供傳動齒輪外的其他齒輪動力，僅當作支撐使用。	減少齒輪數，除了降低製作難度，也可以降低傳動損失與減少齒隙疊加的問題。
四代草圖 	五代草圖 
將兩個懸臂改成一個懸臂，簡化結構設計，並將固定支架改成框架，讓整體結構更穩定。	將馬達偏心擺放，這樣可以再省下一顆齒輪，降低傳動損失與製作難度。

三、 第三代模型衍生問題詳細說明

1. 第三代運作衍生問題:機構穩定度欠佳

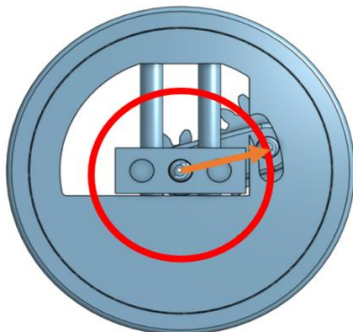


2. 第三代運作衍生問題:機構容易卡死



此機構由中心小齒輪傳動到外側內齒輪，但當(轉動輪胎所需扭力>轉動懸臂扭力)時就會改變車輛高度

在此紅圈中為一垂直軌，如果懸臂轉動時，懸臂長度 l 需改變為 $\sqrt{l^2 + \sin^2(\theta)}$ 其中 θ 為傳動角度。



理論上依照懸臂長度設計出的軌跡會像左圖 10 中紅圈一樣，但當我們將滑軌改成圓弧時原本的位置就會出現強度不足的問題，容易因為晃動斷裂。

3. 第三代運作衍生問題:機構速比問題

由速比公式： $e = \frac{T_1}{T_2} = \frac{N_2 - m}{N_1 - m}$ ，得知當路面起伏時懸臂擺動時會影響傳動速度，

降低使用壽命。

四、第四代模型零件實體圖

		
M0.95T24 正齒輪	內輪框	M0.95T68 冠狀齒輪外輪框
		
馬達	碳纖維滑桿	彈簧外徑 16mm 自由高 24mm
		
608Z 軸承	少許樂高部件	螺釘

五、車輪相關數據表

名 稱	數 值	代 號
輪胎質量 kg	0.0633	M
輪胎外徑 m	0.0805	D_1
輪胎內徑 m	0.0745	D_2
輪寬 m	0.053	H_1
輪內寬度 m	0.0515	H_2
輪胎外半徑 m	0.04025	$\frac{1}{2}D_1$
輪胎內半徑 m	0.03725	$\frac{1}{2}D_2$

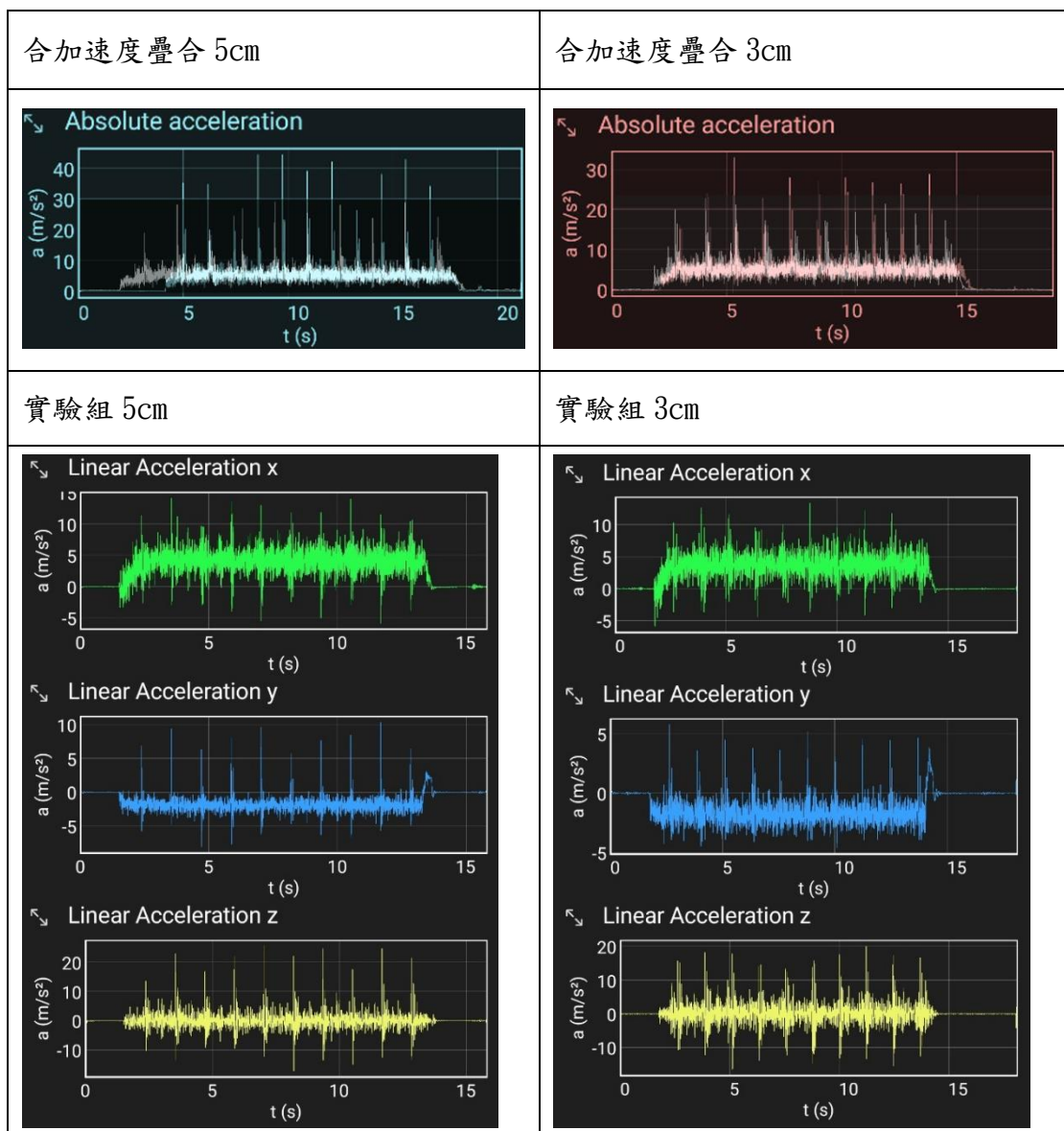
六、體積數據表

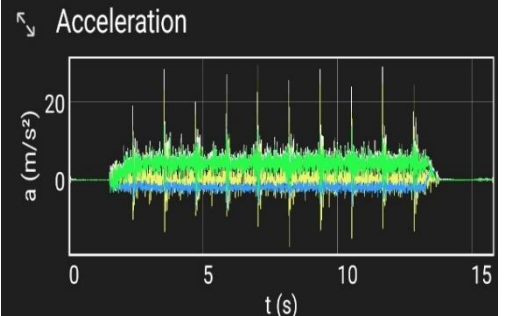
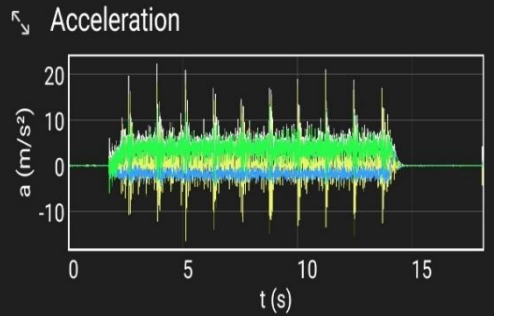
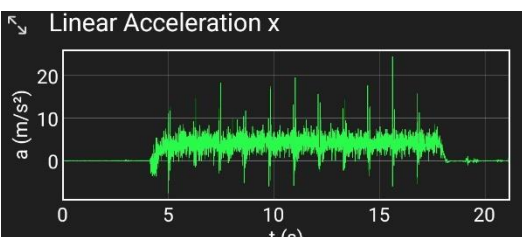
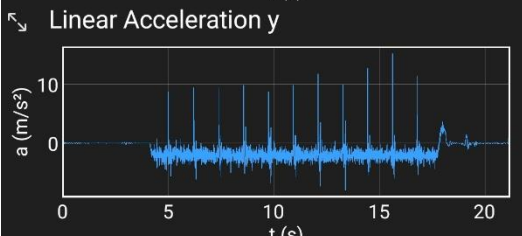
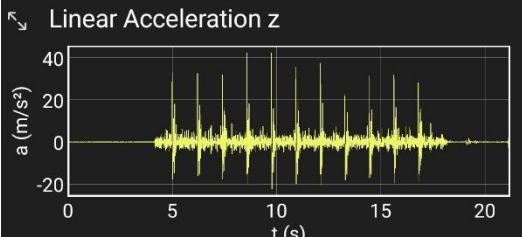
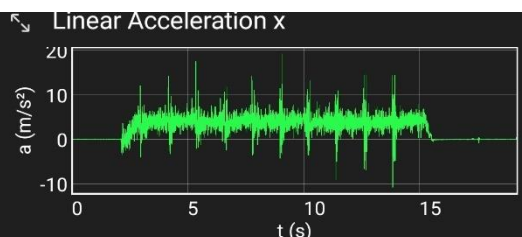
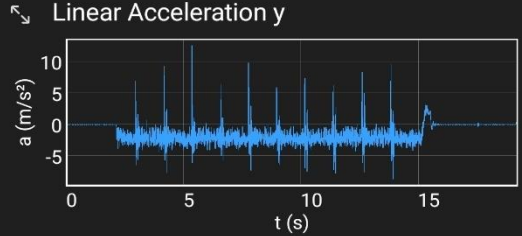
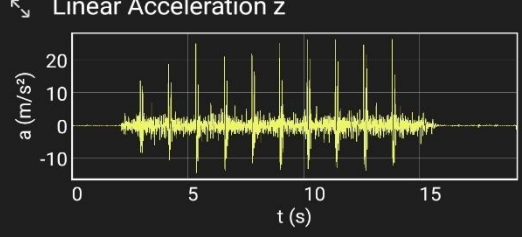
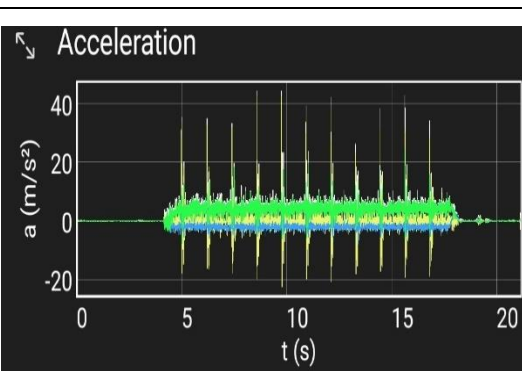
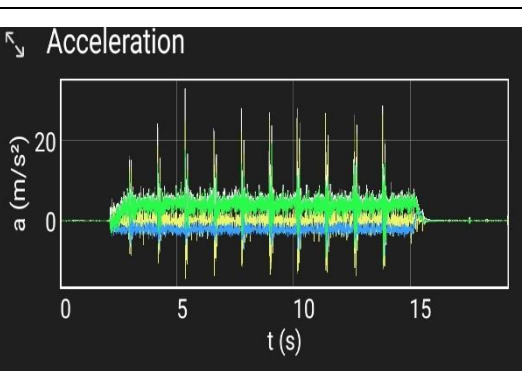
名 稱	數 值	代 號
輪胎圓柱體積 m^3	0.000269611	V_1
輪胎內空心體積 m^3	0.000224383	V_2
整顆輪胎體積 m^3	4.522807E-05	V
密度 kg/m^3	1399.573337	d

七、車輪轉動慣量數據表

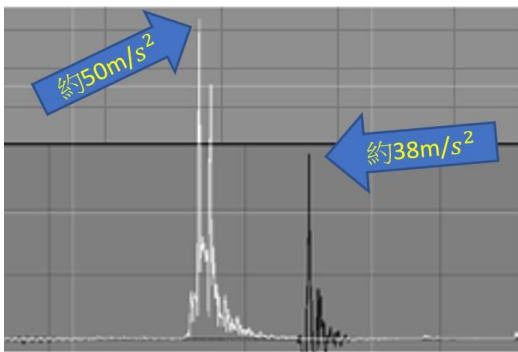
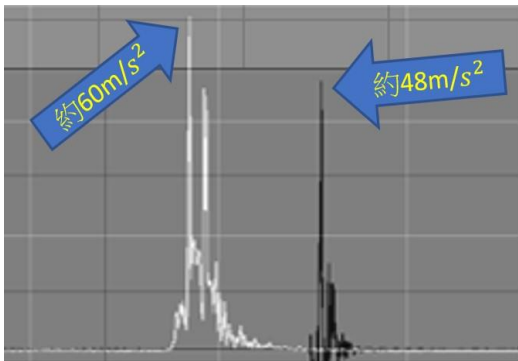
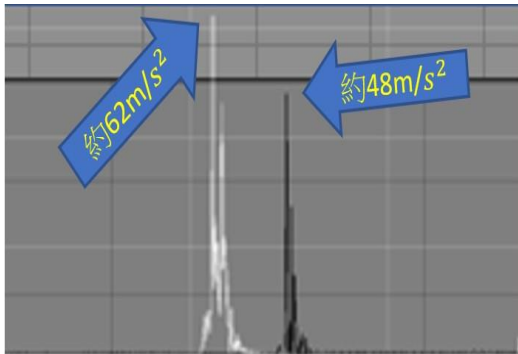
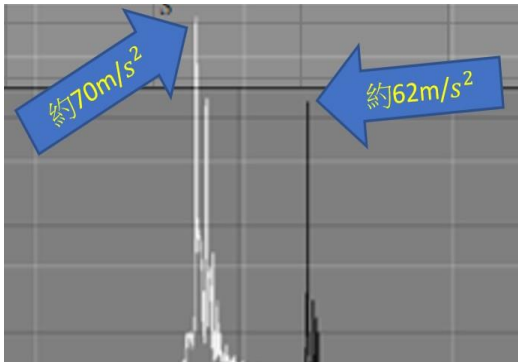
轉動慣量(大) $kg \times m^2$	0.000305657	I_1
轉動慣量(小) $kg \times m^2$	0.000217875	I_2
轉動慣量(整體) $kg \times m^2$	8.77821E-05	I

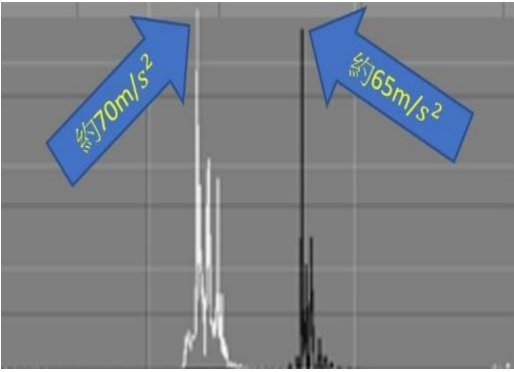
八、過砍實驗加速度圖表



實驗組不同軸向加速度疊合 5cm	實驗組不同軸向加速度疊合 3cm
 Acceleration a (m/s²) t (s)	 Acceleration a (m/s²) t (s)
對照組 5cm	對照組 3cm
 Linear Acceleration x a (m/s²) t (s)  Linear Acceleration y a (m/s²) t (s)  Linear Acceleration z a (m/s²) t (s)	 Linear Acceleration x a (m/s²) t (s)  Linear Acceleration y a (m/s²) t (s)  Linear Acceleration z a (m/s²) t (s)
對照組不同軸向加速度疊合 5cm	對照組不同軸向加速度疊合 3cm
 Acceleration a (m/s²) t (s)	 Acceleration a (m/s²) t (s)

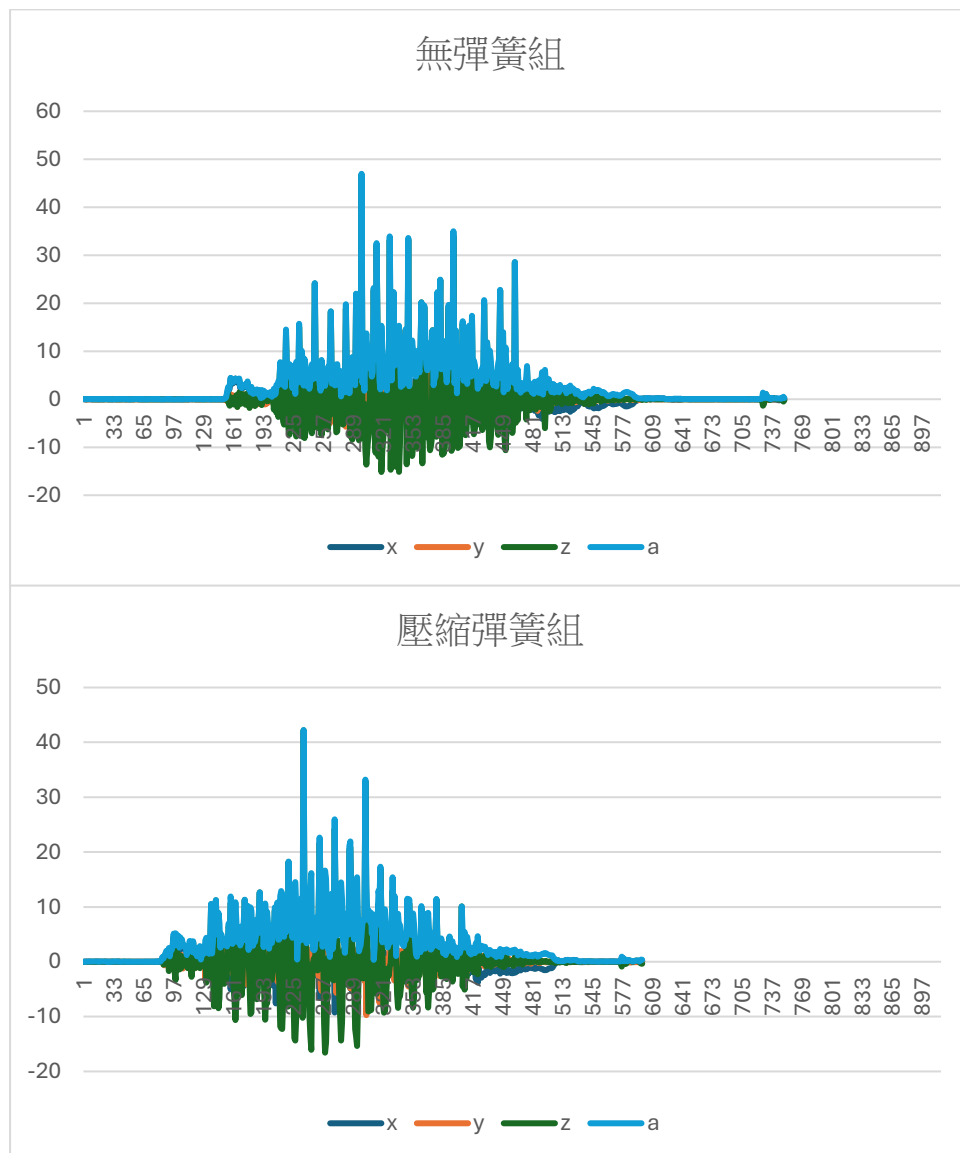
九、 不同掉落高度與其它參數量測結果表

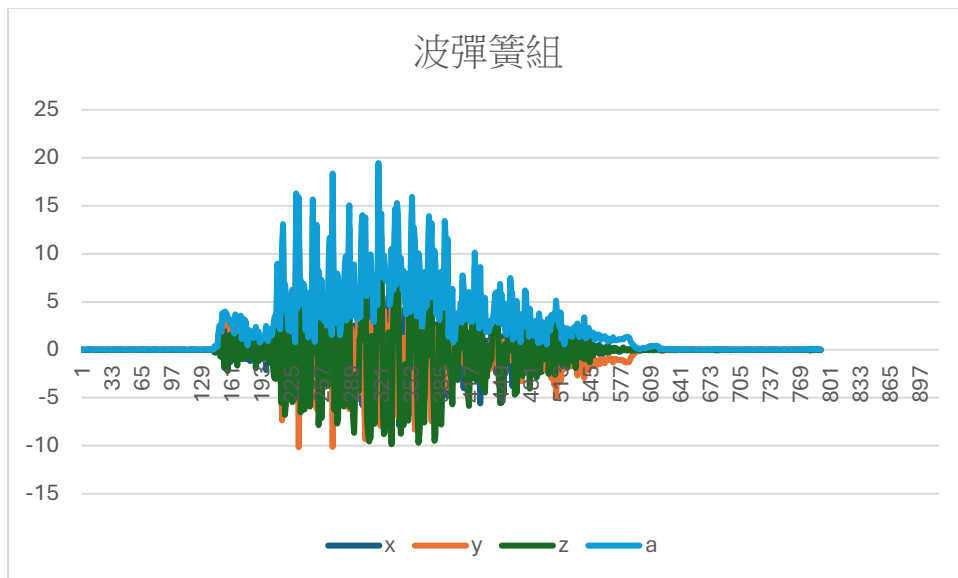
	車輪離地高度	1cm
	對照組加速峰值	50 m/s ²
	對照組衝擊力	72N
	實驗組加速峰值	38 m/s ²
	實驗組衝擊力	54.72N
	減緩衝擊比例%	25%
	車輪離地高度	2cm
	對照組加速峰值	60 m/s ²
	對照組衝擊力	86.4N
	實驗組加速峰值	48 m/s ²
	實驗組衝擊力	69.12N
	減緩衝擊比例%	20%
	車輪離地高度	3cm
	對照組加速峰值	62 m/s ²
	對照組衝擊力	89.28N
	實驗組加速峰值	48 m/s ²
	實驗組衝擊力	69.12N
	減緩衝擊比例%	23%
	車輪離地高度	4cm
	對照組加速峰值	70 m/s ²
	對照組衝擊力	100.8N
	實驗組加速峰值	62 m/s ²
	實驗組衝擊力	89.28N
	減緩衝擊比例%	12%

	車輪離地高度	5cm
	對照組加速峰值	70 m/s ²
	對照組衝擊力	100.8N
	實驗組加速峰值	65 m/s ²
	實驗組衝擊力	93.6N
	減緩衝擊比例%	7%

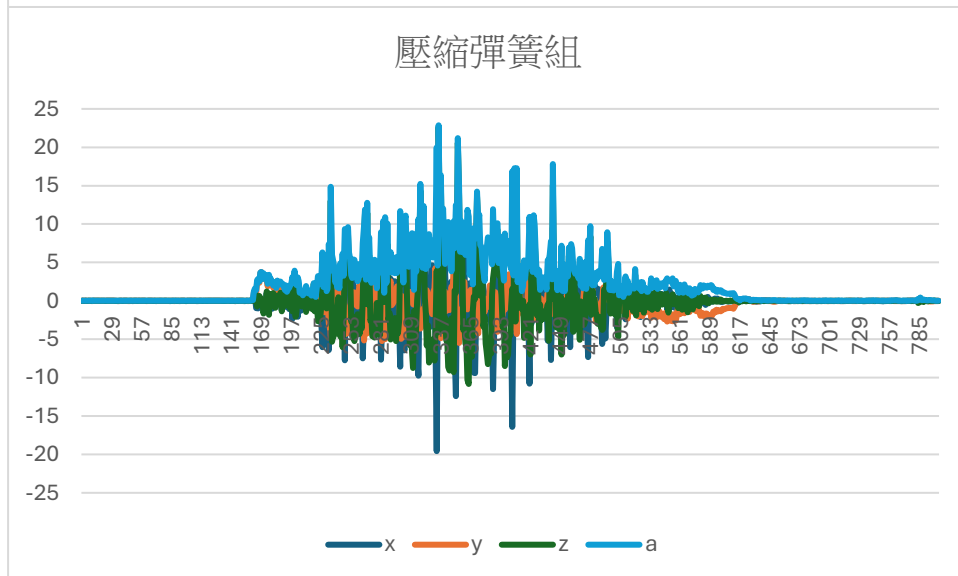
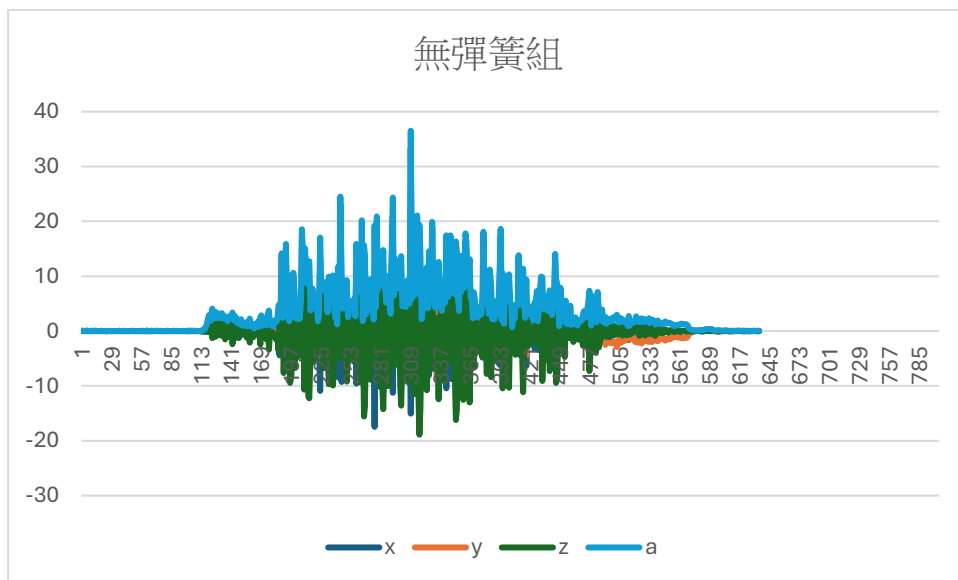
十、 不同彈簧經過減速代測試加速度數據圖表

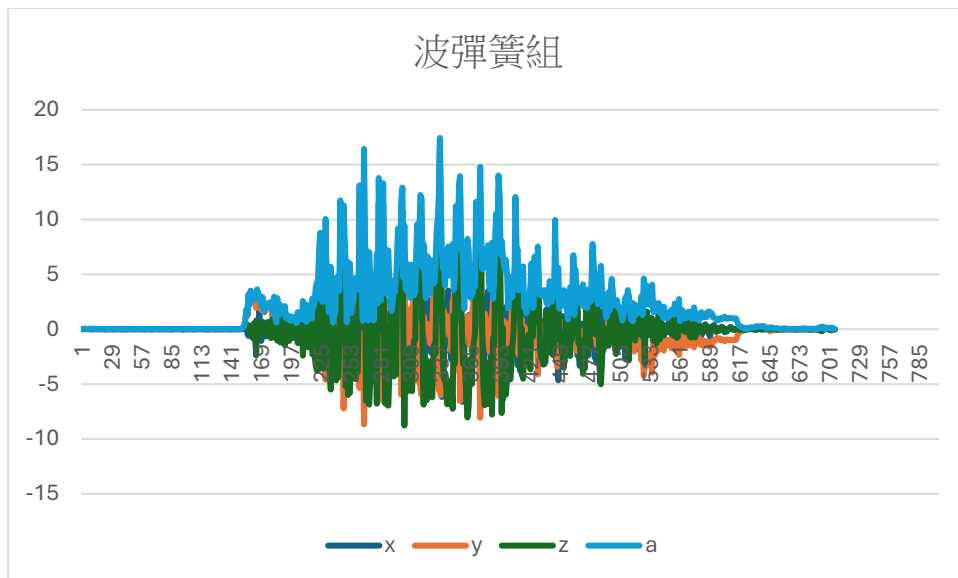
1. 負重 0g



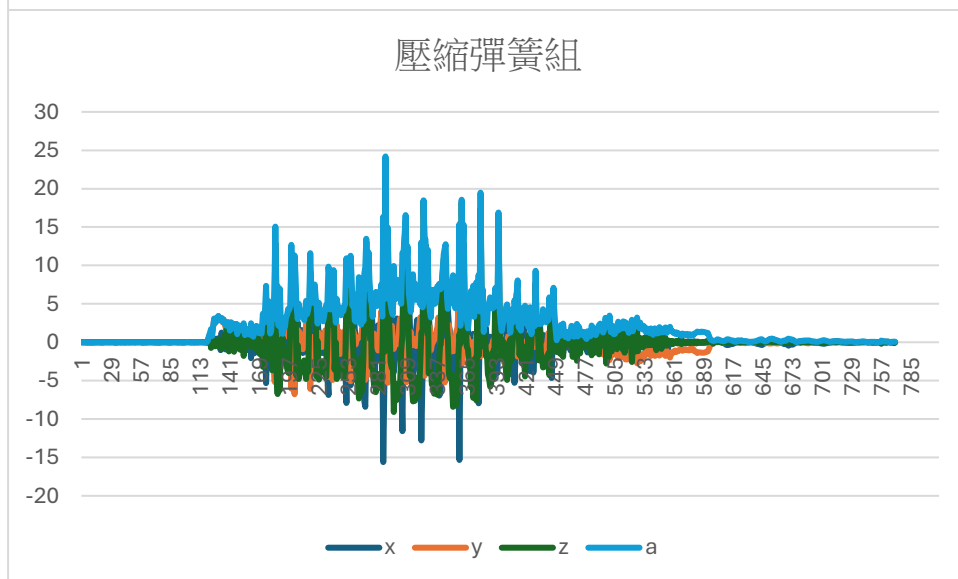
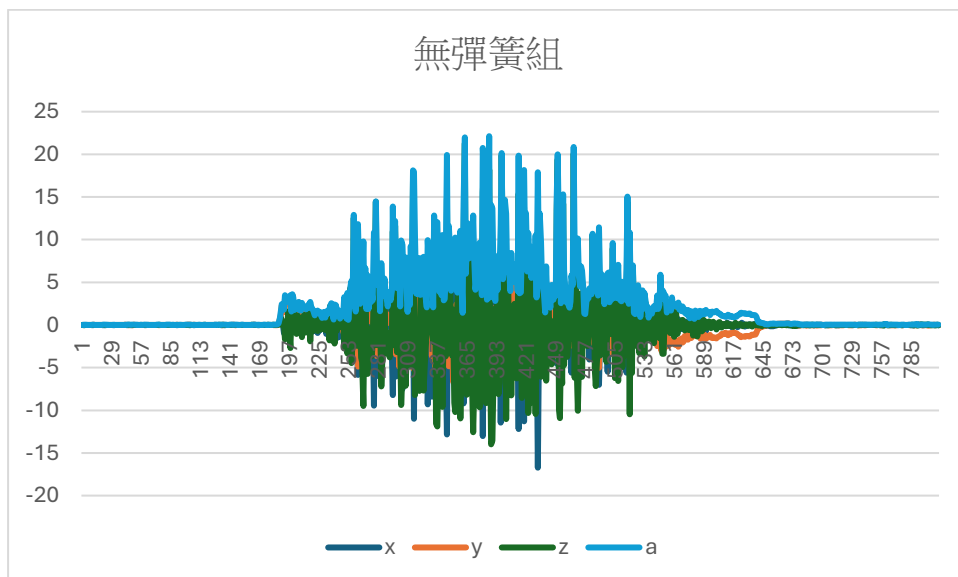


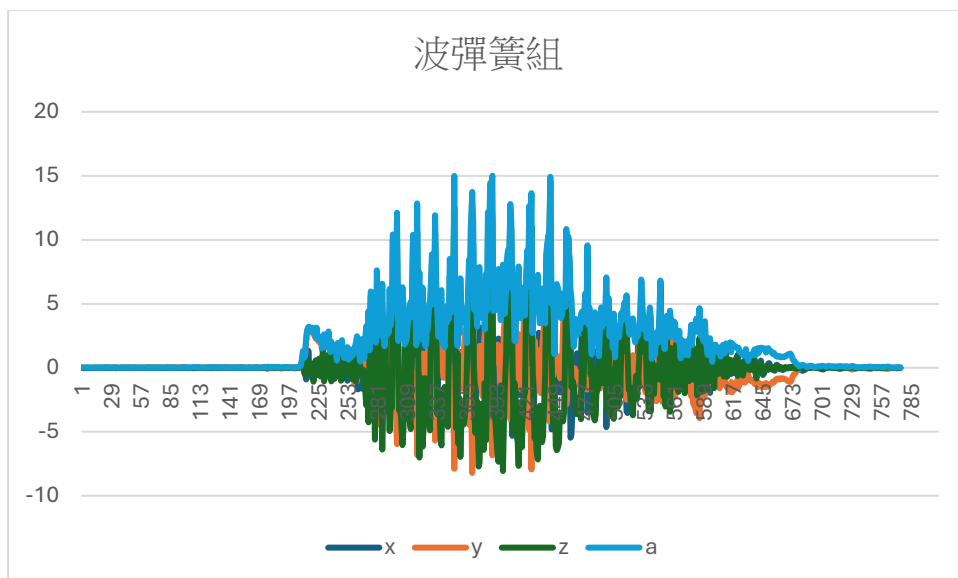
負重 500g



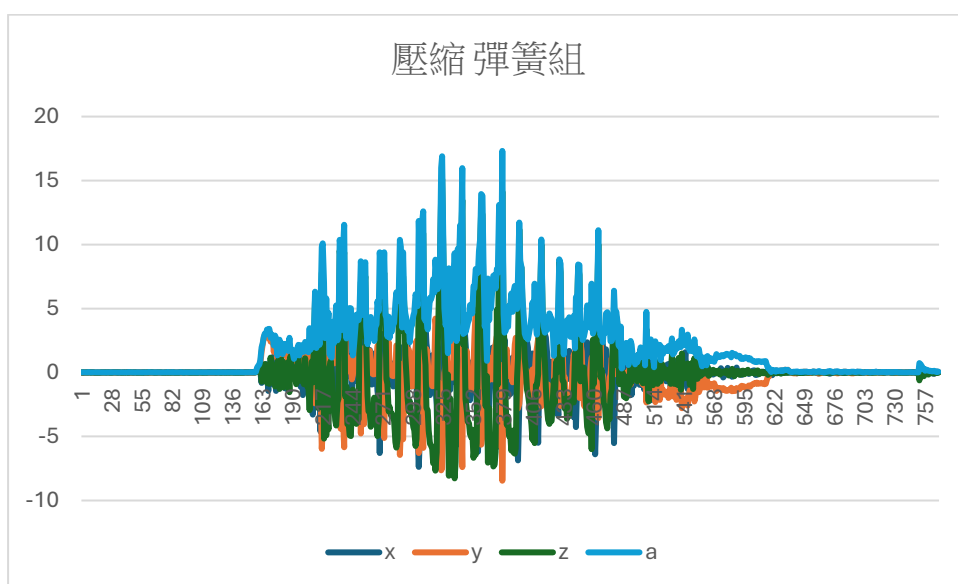
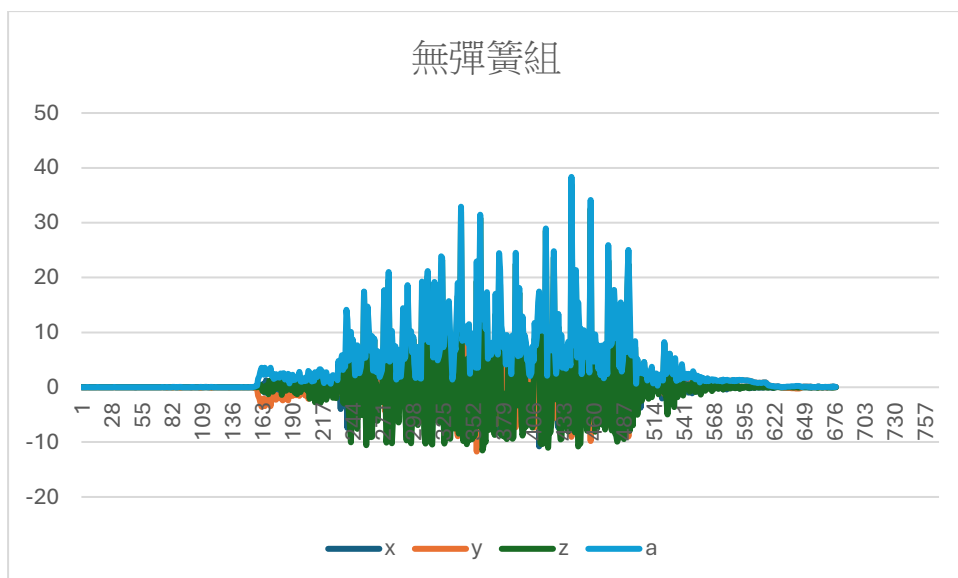


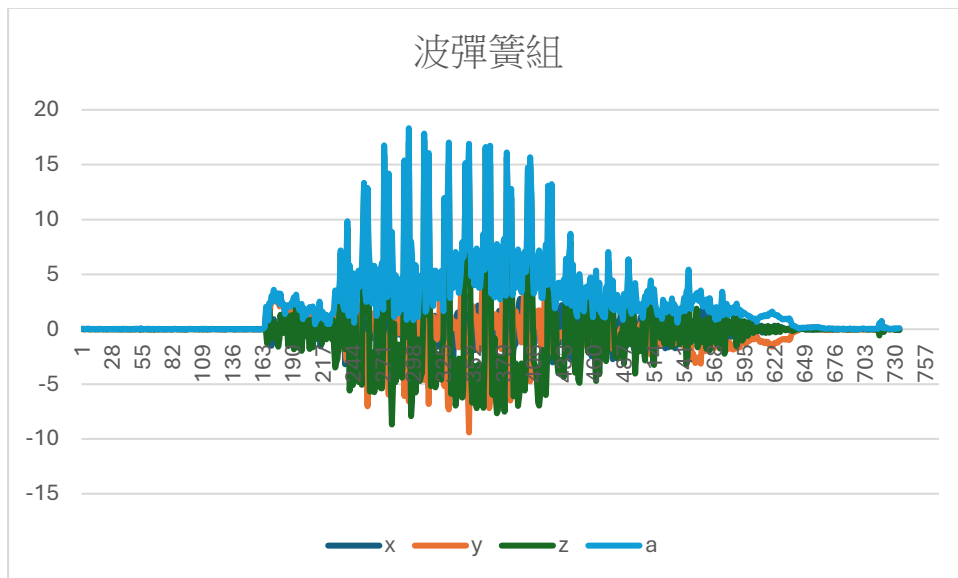
負重 750g





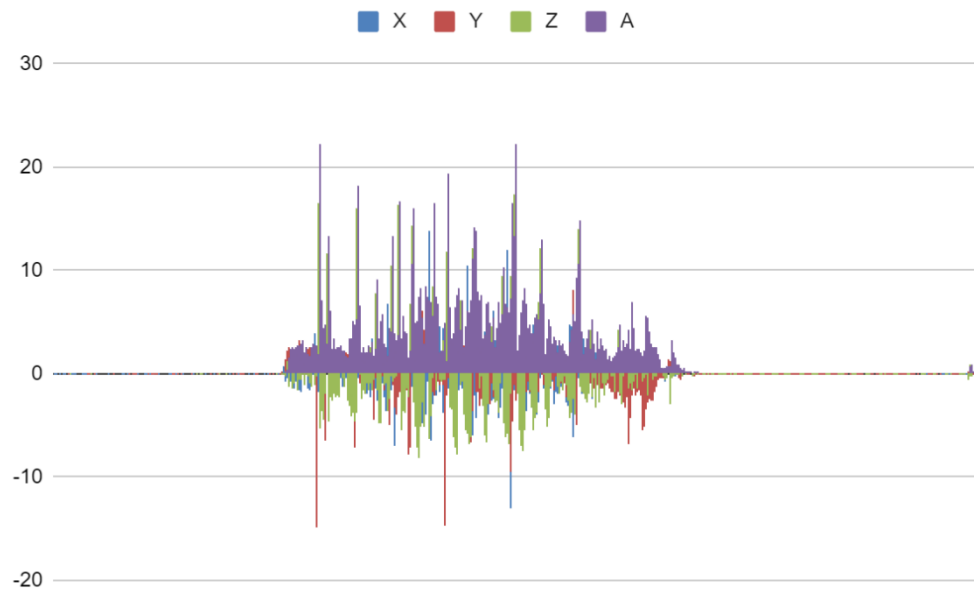
負重 1000g



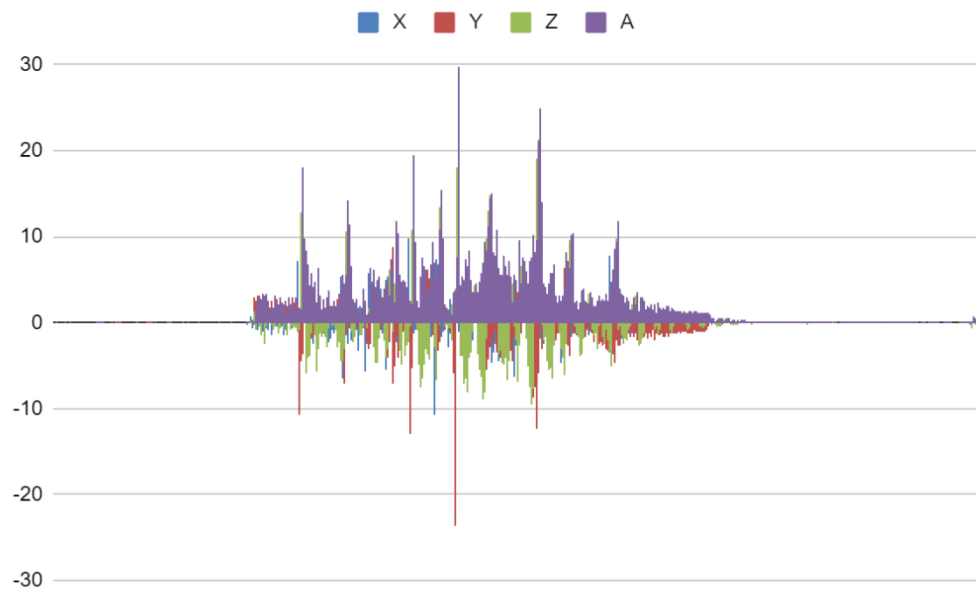


十一、 大起伏路面不同彈簧加速度時間關係圖

1. 波彈簧



2. 壓縮彈簧



3. 無彈簧

