

2025 仰望盃全國科學 HomeRun 實作大賽

決賽作品說明書

隊伍名稱：擺渡人

作品名稱：擺盪之間：從共振抑制到動態穩定

科學概念 1：共振現象

共振現象發生於當外部周期性驅動力的頻率接近物體的固有頻率時，系統會吸收大量能量，導致振幅劇增。這是由於在共振頻率下，外力與物體的振動節奏相匹配，從而增強了物體的振動。

科學概念 2：單擺理論

單擺是描述物體在懸掛狀態下受重力影響進行擺動的基本物理模型。在單擺系統中，擺動的頻率(或週期)由擺長和重力加速度決定。具體來說，擺動的周期 T 與擺長 L 之間的關係為：

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

其中， g 是重力加速度， L 是擺長。

決賽成果報告書內文

1. 發想動機：

纜車是山區常見的交通觀光工具，能夠克服地形限制，提供便利的運輸方式。然而，當纜車受到外部風力或其他影響時產生擺盪，不僅會影響舒適度，更可能存在風險，例如，在風速較大的情況下，纜車可能因擺動幅度過大而暫時停止行駛，甚至有可能發生纜繩過度受力而損壞的危險。如何有效減少風力影響，提升纜車的穩定性，是一個值得探討的問題。

現有纜車大多依靠固定結構、增加重量、機械阻尼或調整纜繩張力等方式來減少擺動。但這些方法只能在設計階段進行調整，無法主動應付突來的強風。因此，我們希望透過實驗探討不同吊臂長度與角度對纜車抗風能力的影響，找出較佳的設計方案，以提供更穩定的運行方式。

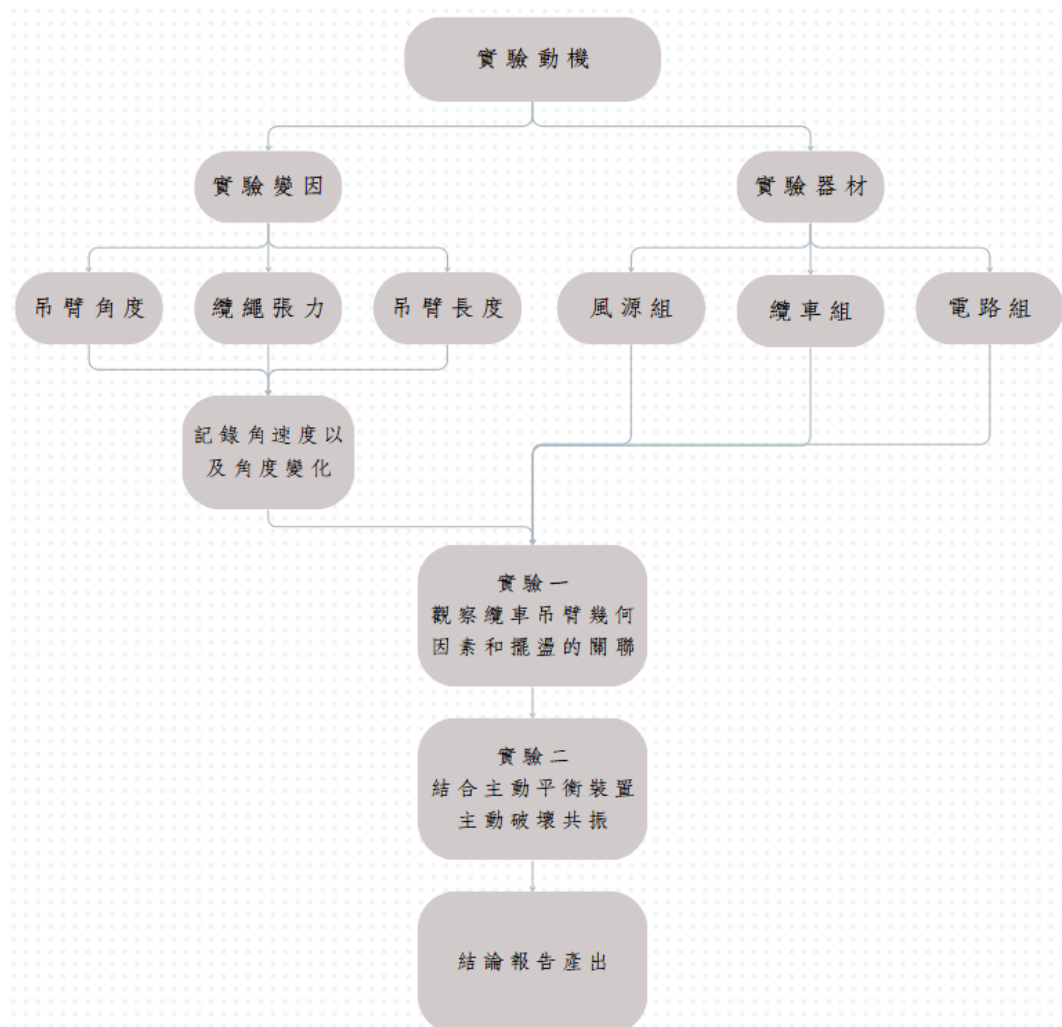
本實驗透過簡易風洞(風扇+整流段)模擬不同的風速和風頻的環境，初步測試吊臂的不同幾何因素(如長度、角度)對纜車擺盪的影響。並發想是否能藉由改變纜車的質心位置，觀察其對擺盪頻率與振幅的影響，評估有效減少擺動，在後續篇幅將具體說明理論依據以及執行方式與應用藍圖。

2. 作品創意性：

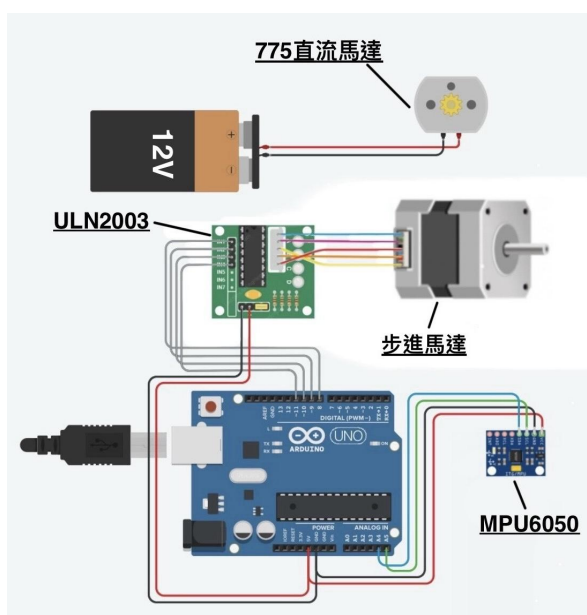
- a. 現有纜車大多依靠固定結構抵抗陣風。我們發想，透過改變系統內部配重位置來調控擺盪行為，來達到穩定的概念，思考利用可移動配重達成破壞共振。這樣的設計不僅能改變重心，還能實現主動穩定控制。我們先研究了各種不同長度(和纜車的長度比1.25倍、1.5倍、1.75倍)和不同角度的吊臂在陣風下的擺盪程度，使用MPU6050偵測纜車的晃動，透過 Arduino 進行即時數據記錄與分析。

改變纜車配重的位置來穩定擺盪也許是一種可行的方法，類似於「主動調節質心」的概念，在航太與機械領域已有相關應用，例如：飛機油箱的燃油重新分配來改變重心位置，提高穩定性；自平衡機器人利用內部移動配重來保持平衡。

b. 研究流程圖



3. 硬體及電路架構：

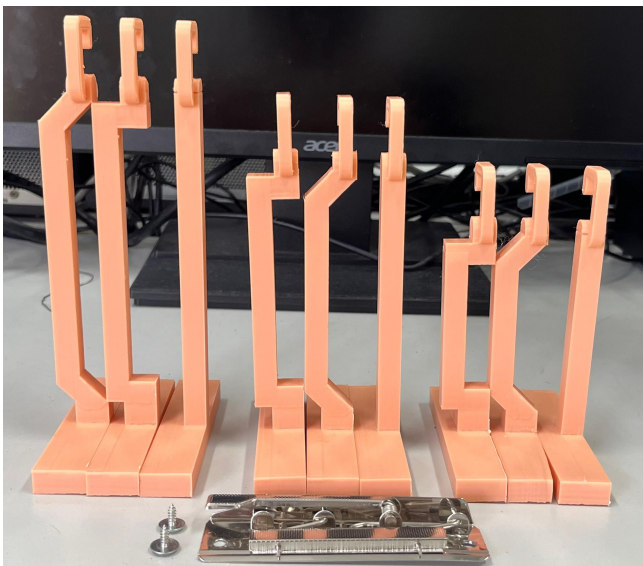


(圖一)硬體及電路

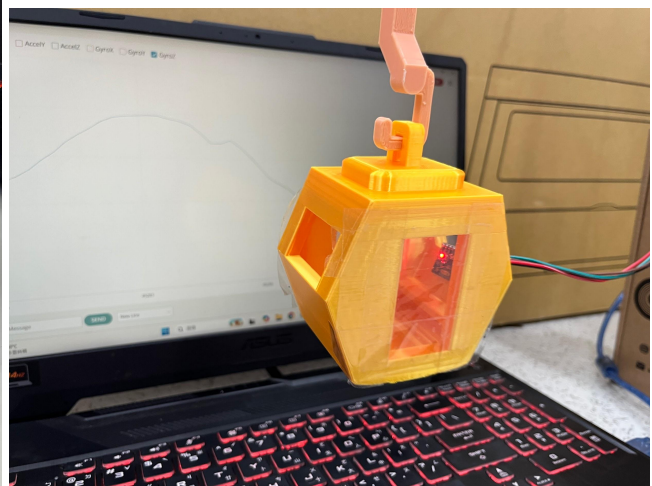
4. 實驗：

a. 實驗一、吊臂幾何因素對纜車擺動影響

- i. 實驗裝置：不同長度(和纜車的長度比1.25倍、1.5倍、1.75倍)；不同角度(90度、180度、45度)的吊臂、纜車、MPU6050、Arduino開發版、簡易風洞
- ii. 初始設定：將纜車掛載於纜繩中央，確保起始角度一致
- iii. 實驗流程：
 - (i)啟動簡易風洞，保持風速與風頻穩定
 - (ii)透過 MPU6050 讀取纜車的角度(pitch/roll)與角速度 (gyro)
 - (iii)使用 Arduino 將資料即時傳送至電腦並記錄
 - (iv)更換吊臂不同長度角度以及調整纜繩張力
 - (v)擺盪指數 = 最大擺角變化 × 最大角速度，比較不同吊臂設計下的擺盪強度



(圖二)不同長度角度的吊臂



(圖三)不同幾何因素影響擺盪、X軸震盪幅度

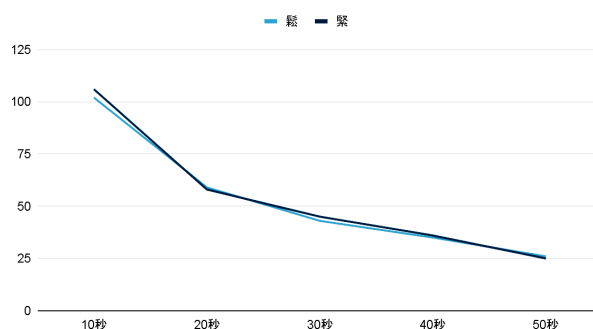
5. 作品成果報告：

針對不同吊臂長度與角度對纜車穩定性的影響進行實驗，並利用MPU6050 六軸感測器量測纜車在風場中的擺盪狀態，以獲得量化數據。實驗結果顯示，當纜車位於纜繩中段時，不同設計的吊臂在擺盪幅度上差異不大；但當纜車接近纜繩兩端時，90 度與 180 度吊臂的擺動角度衰減較快，回到穩定狀態的速度也較快。

根據單擺模型的理論，吊臂越長，其擺盪週期越長、擺動速度越慢；吊臂越短，則擺動越快。實驗數據與理論模型整體一致，但也顯示較長吊臂雖擺動較慢，卻可能更容易在特定風速下與風場產生共振，反而導致更大的擺幅。因此，在吊臂設計時，除了長度外，還需考慮阻尼、配重與風力條件，以提升整體穩定性。

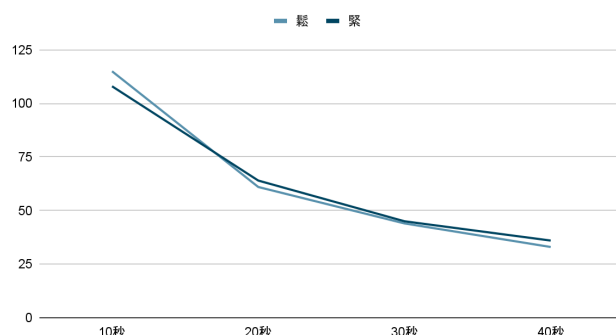
本研究所建立的實驗方法可延伸應用於其他懸吊系統，例如橋梁防擺設計、建築結構抗震、或無人機吊掛系統的穩定性優化等領域。

90度吊臂來回角度變化

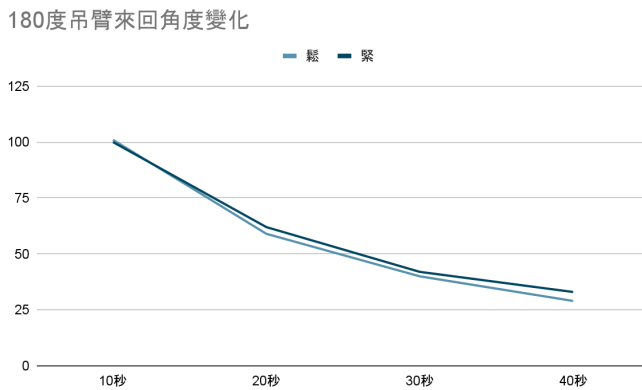


(圖四)90度吊臂來回角度隨時間變化之關係圖

45度吊臂來回角度變化



(圖五)45度吊臂來回角度隨時間變化之關係圖

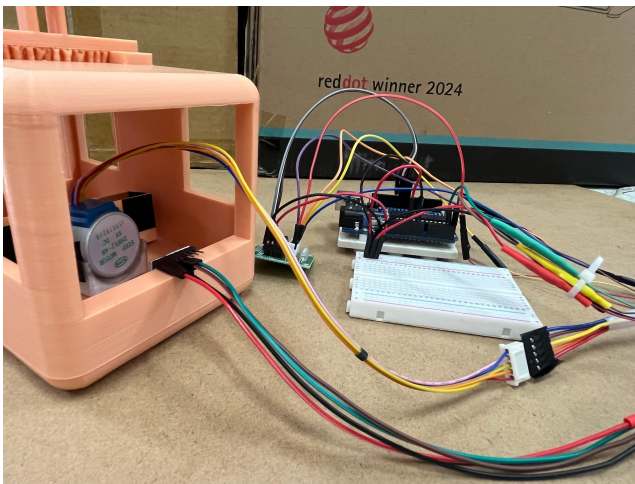


(圖六)180度吊臂來回角度隨時間變化之關係圖

6. 實驗與裝置改良：

a. 實驗設計：

為了提升纜車模型在遭遇側向陣風時的穩定性，我們設計了一組結合 MPU6050 姿態感測器與ULN2003 步進馬達模組的主動調節構造。核心構想為利用一條半圓形滑槽與一顆鋼珠構成的動態配重系統，透過馬達調整滑槽傾斜角度，引導鋼珠向特定方向滾動，以改變整體重心來達到平衡。



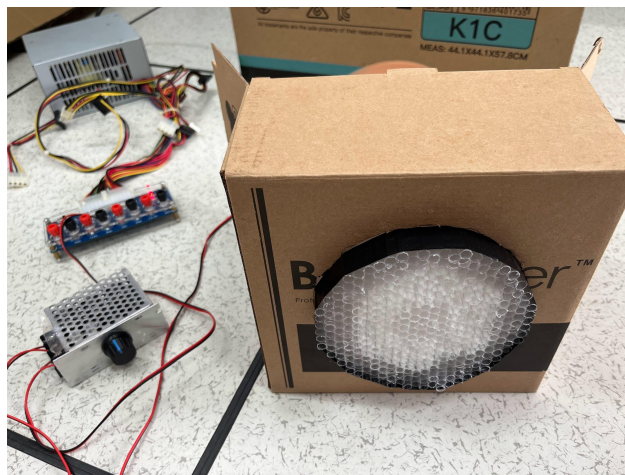
(圖七)(圖八)改良後的纜車+Arduino

b. 主動傾斜控制機制並使用步進馬達作為執行元件：

當MPU6050檢測到纜車偏右(X 軸加速度 $> \text{baseX} + \text{threshold}$), 表示風從左側吹來, 控制步進馬達使滑槽向左傾斜, 讓鋼珠向左滾動, 產生反向配重。反之, 若偏左(X 軸加速度 $< \text{baseX} - \text{threshold}$), 則控制滑槽向右傾斜, 鋼珠向右滾動。使用 ULN2003 驅動模組控制步進馬達, 透過程式精確地進行方向與步數的調整。單次轉動設為固定步數($\text{stepsPerMove} =$), 以避免過度調節導致震盪。

c. 簡易風洞:

- i. 風力來源: 風力來源採用775型直流馬達, 透過連接風扇葉片模擬強風環境, 提供穩定可控的氣流以進行擺盪測試。
- ii. 整流段: 風口前方加裝以蜂巢結構為主體的整流器, 模擬風洞系統中常見的流線整流裝置。結構能消除亂流與渦流, 讓風場在進入實驗區域前趨於均勻, 提升實驗條件的可控性與重現性。
- iii. 風速可調系統: 馬達接入可調式電壓控制模組, 操作者可精確調節風扇轉速, 進而模擬不同等級的風力, 作為測試纜車穩定性與擺盪行為的依據。系統供電採用標準ATX電源。



(圖九)簡易風洞

d. 資料傳輸與可視化:

所有感測資料透過 `Serial.println()` 輸出, 搭配 Arduino IDE 的 Serial Plotter 即時繪圖, 在螢幕中顯示纜車的角速度以及角加速度以便於觀察加

速度變化與控制效果。並隨時間間隔(10秒)紀錄纜車的擺盪情形以便後續整理。

(圖十)Serial Plotter 即時繪圖例圖

e. 這項設計的目標在於探索「主動動態配重」於小型系統中抑制擺動的可行性與實用性。我們將持續調整滑槽曲率、鋼珠質量與門檻參數，以優化整體穩定效果。

7. **結論：**本研究聚焦於纜車在強風環境中所產生的擺盪問題，並以「從共振抑制到動態穩定」為核心，探討如何透過結構設計與動態調控機制，提升整體系統的穩定性與安全性。透過結合理論分析與實驗觀察，我們得出以下幾項主要發現：

- a. 首先，實驗結果顯示，纜車吊臂的幾何參數（長度與角度）對於擺盪行為具有顯著影響。在相同風速條件下，當吊臂角度設定為 90 度或 180 度時，纜車的擺角會以較快速度衰減，能有效降低持續擺幅，並加速恢復至穩定狀態。這反映出某些角度組合具有天然的阻尼效果。此外，吊臂長度的變化也直接影響擺動的頻率與週期，與單擺理論相符：吊臂越長，擺動越緩慢，週期越長。然而，若缺乏有效的阻尼設計，較長的吊臂也可能更易進入共振狀態。
- b. 針對此一問題，我們進一步提出一項創新設計概念——移動配重系統，作為主動控制擺盪的手段。藉由改變配重位置以調整纜車重心，我們嘗試打破共振條件並穩定擺動行為。模擬與實作初步證實此方法具備可行性，其控制邏輯與航空領域中飛機藉由燃料再分配來穩定飛行的策略類似。相較於單純依賴結構剛性來抑制震盪，這種具動態反應能力的設計更能應對突發風況等外部擾動。

- c. 為了實現即時控制與資料回饋，我們採用了 MPU6050 六軸感測器搭配 Arduino 系統，建立一套能即時監測纜車擺盪狀態的感測架構。在不同設計條件下所收集到的數據，不僅驗證了理論模型的準確性，也為後續整合演算法與控制系統提供了寶貴依據。這樣的硬體整合方式提升了研究的實作深度，也展現此系統發展為智慧化平台的潛力。
- d. 本研究所採用的方法與概念亦具高度延展性，未來可應用於橋梁防震、高樓避震系統，乃至無人機懸掛物體的擺盪抑制等多種工程領域，具有良好的發展潛力與跨域應用價值。

8. (附錄)Arduino程式碼

a. 設定和初始化

```
void setup() {  
  Serial.begin(115200);  
  while (!Serial) {  
    delay(10); // 等待 Serial 開啟  
  }  
  
  // 初始化 MPU6050  
  if (!mpu.begin()) {  
    Serial.println("Failed to find MPU6050 chip");  
    while (1) { delay(10); }  
  }  
  
  mpu.setAccelerometerRange(MPU6050_RANGE_16_G);  
  mpu.setGyroRange(MPU6050_RANGE_250_DEG);  
  mpu.setFilterBandwidth(MPU6050_BAND_21_HZ);  
  
  myStepper.setSpeed(60); // 降低速度到 15 RPM，確保馬達平穩  
  delay(1000); // 給感測器啟動時間  
}
```

```
// 步進馬達設定：每圈步數與接腳  
const int stepsPerRevolution = 2048; // 28BYJ-48 馬達通常為 2048 步  
Stepper myStepper(stepsPerRevolution, 8, 9, 10, 11);
```

```
Serial.begin(115200);  
while (!Serial) {  
  delay(10); // 等待 Serial 開啟  
}
```

```
if (!mpu.begin()) {  
  Serial.println("Failed to find MPU6050 chip");  
  while (1) { delay(10); }  
}
```

```
mpu.setAccelerometerRange(MPU6050_RANGE_16_G);
mpu.setGyroRange(MPU6050_RANGE_250_DEG);
mpu.setFilterBandwidth(MPU6050_BAND_21_HZ);
```

b. loop

```
void loop() {
    sensors_event_t a, g, temp;
    mpu.getEvent(&a, &g, &temp);

    // 讀取數值
    float ax = a.acceleration.x;
    float ay = a.acceleration.y;
    float az = a.acceleration.z;
    float gx = g.gyro.x;
    float gy = g.gyro.y;
    float gz = g.gyro.z;

    // 步進馬達控制 (偵測 x 軸加速度傾斜)
    float tiltThreshold = 5.0; // 傾斜門檻值 (m/s^2)
    int stepsToMove = 10; // 每次移動 10 步，減少阻塞
    if (ax > tiltThreshold) {
        myStepper.step(stepsToMove); // 順時針移動
    } else if (ax < -tiltThreshold) {
        myStepper.step(-stepsToMove); // 逆時針移動
    }

    // 統一格式輸出資料 (僅數值，供序列埠繪圖器使用)
    Serial.print(ax); Serial.print(",");
    Serial.print(ay); Serial.print(",");
    Serial.print(az); Serial.print(",");
    Serial.print(gx); Serial.print(",");
    Serial.print(gy); Serial.print(",");
    Serial.println(gz);

    delay(10); // 減少延遲，提高採樣頻率
}
```

9. 參考文獻：

1. 高雄市長明華國中國民中學. (2019). 「尾曲」求「安全」－探討直臂與曲臂對於擺盪值的影響. 科學探究獎.

https://sciexplore2019.colife.org.tw/vote_content.aspx?guid=2ee5a0e6-7b58-47dd-a592-de2c290ca27e&type=pop&group=2

2. 苗栗縣立公館國民中學. (2014). 纜纜升起 震震有辭－地震與纜車的邂逅. 中華民國第 54 屆中小學科學展覽會.

<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/54/pdf/030504.pdf>

3.李春茂. (2004). *國外高山纜車設置及管理案例之研究*. 行政院經濟建設委員會.

<https://ws.ndc.gov.tw/001/administrator/10/refile/5680/4462/0009058.pdf>

4.彰化縣員林鎮員林國小. (2010). *曲直分明--為何纜車的握臂是彎的?*. 中華民國第 50 屆中小學科學展覽會.

<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/50/pdf/080107.pdf>