

# 2023 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

## 技高組 成果報告表單

題目(作品)名稱：“不上不下”-簡易探討電動窗摩擦力

### 一、摘要：

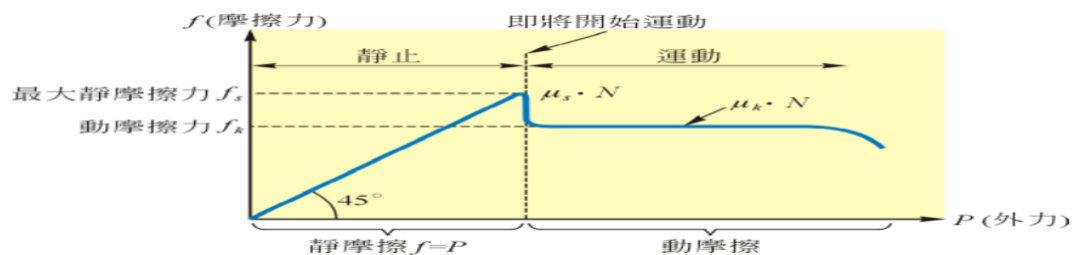
在做汽車電動窗實習時，發現電動窗會有卡卡的情況發生，於是回想起力學課程提到的摩擦力現象，於是用簡易的方法來探討電動窗摩擦力。

### 二、探究題目(創意作品)與動機

當兩物體發生滑動摩擦時，其過程可分靜摩擦、最大靜摩擦、動摩擦。

在做汽車電動窗檢測時，會遇到電動窗完全不動、電動窗有擺動的現象，電動窗正常擺動等現象，故障的原因很多：電動開關，電動窗接線，電動窗保險絲，鑰匙開關，電動窗馬達、電瓶電源不足、馬達接線，水切膠條老化變硬、保險絲燒毀、等等。

本研究探討範圍設定所有情形正常，只設定水切膠條老化變硬(玻璃與硬質橡膠的摩擦係數大約為 0.53)，而在一切正常時，理論上電動窗靜止不動時，摩擦力是屬於靜摩擦力，電動窗將要開始擺動時，摩擦力屬於最大靜摩擦力，電動窗正常擺動時，摩擦力屬於動摩擦力。如圖一



而理論上電動窗本身因為配合車體形狀的緣故，並非完全垂直向上下移動，而是有一個角度(如圖二)，並且因為構造的關係，會產生摩擦阻力的，不只有一個地方，我們查了期刊與論文，參照實體構造，會有摩擦阻力的有：A SEAL、B SEAL、HORIZONTAL SEAL(如圖三)。且因為馬達結構與推送電動窗的力學精準分析，需要將偏擺情況(向左偏擺如圖四或向右偏擺如圖五)考慮進來。

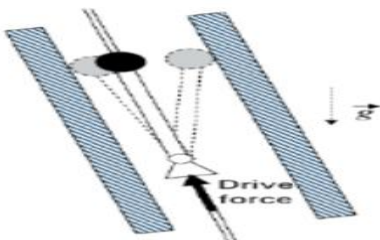


Figure 1: Simple model for dynamic analyse

圖二 電動窗馬達推力分析(註二)

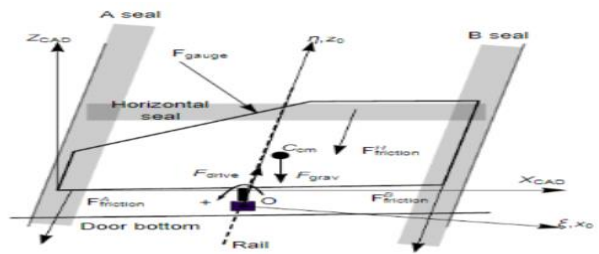


Figure 2: Next model based on physics of simple model

圖三 電動窗摩擦阻力分析(註二)

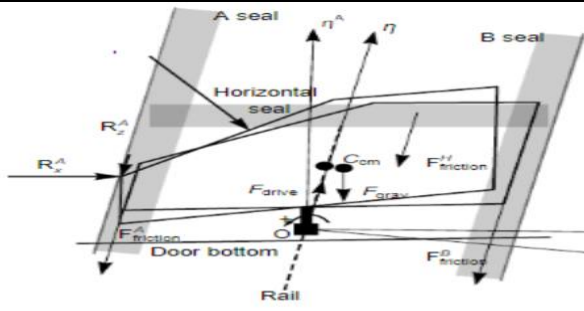


Figure 4: Tilted window glass on A-side

圖四 電動窗馬達推力偏左分析(註二)

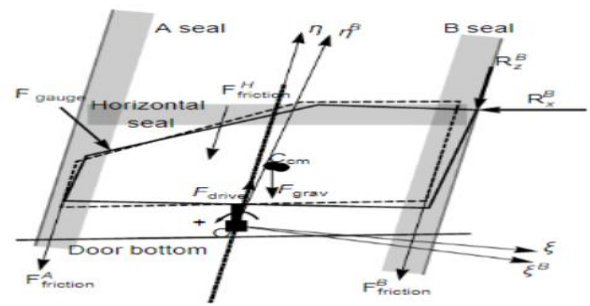


Figure 3: Stable static case like tilted on B-side

圖五 電動窗馬達推力偏右分析(註二)

### 三、探究(創作)目的與假設

#### 3-1 實驗假設

1. 電瓶正常(12.4V)
2. 設定電動窗馬達扭力不變
3. 設定馬達推舉之力為向上之力無傾斜且無偏擺
4. 馬達旋轉周長完全等於電動窗之上下移動距離，無損失
5. 使用之潤滑劑為(肥皂水、WD-40、保護蠟、洗碗精、3M 化清劑、拆下門飾板無水切膠條)
6. 利用後製影片加上時間(1 秒=30 幀)，求得  $S=V*T$  (距離=速度\*時間)，比較潤滑效果。



圖六 測量電瓶電壓(作者自拍)



圖七 電動窗馬達減速比與周長



圖八 WD-40



圖九 保護蠟



圖十 洗碗精



圖十一 3M 化清劑

#### 產品說明

1. 12.0/24.0V 汽車電動窗馬達
2. 尺寸:  $\phi 75 \times 32.8/27\text{mm}$ ,  $\phi 43 \times 33.5 \times 95.5\text{mm}$
3. 電壓:
  - Operating Range: 12.0/24.0
  - Nominal: 12.0V constant
4. 空載:
  - Speed (rpm): 78
  - Current (A): 1.2
5. 最大效率:
  - Speed (rpm): 61
  - Current (A): 4.31
  - Torque: 37.3 (lb-in), 43.05 (kg-cm)
  - Output: 26.99W
  - Efficiency: 52.09%
6. 堵轉扭力: 171.3 (lb-in), 197.8 (kg-cm)
7. 用途: 汽車電動窗

圖十二 電動窗馬達規格



圖十三 電動窗尺寸 45 CM

### 3-1-1 電動窗靜摩擦力與最大靜摩擦力分析(玻璃與硬質橡膠的摩擦係數大約為 0.53)

$$F = \mu \cdot N \quad \cdot \quad \mu = 0.53 \quad \cdot \quad F = \text{Torque}: 43.05(\text{kg}\cdot\text{cm})$$

由以上可反推硬化之水切橡膠產生之阻力為

$$43.05/0.53 = 81.22(\text{kg}\cdot\text{cm})\text{-兩片}$$

最大靜摩擦力為  $F = P = 43.05(\text{kg}\cdot\text{cm})$

### 3-1-2 電動窗動摩擦力分析：查證期刊文獻後發現在固體上液滴的摩擦係數稱為液體-固體阿蒙頓定律(Friction Coefficients for Droplets on Solids: The Liquid-Solid Amontons' Laws)。

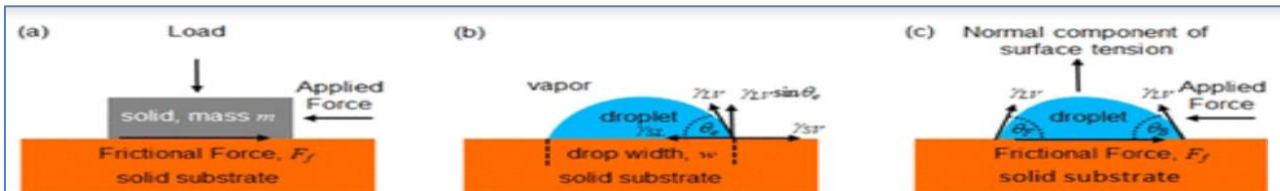


Figure 1. Amontons laws of friction: (a) Solid sliding on a solid due to an applied force. (b) Droplet equilibrium without an applied force. (c) Droplet sliding/rolling on a solid due to an applied force.

圖十四 The Liquid-Solid Amontons' Laws 註三

## 四、探究方法(製作原理)與驗證步驟

我們參考“ 電動車窗最佳控制參數的探索” 論文，關於車窗上下位置的偵測方法，首先在電動窗車窗位置設置座標圖，如圖十四，並依照論文理論使用中央差分法，



圖十五 電動窗車窗位置設置座標圖

車窗長度 45CM，分成三等分，訂座標，最下方 0CM 設定座標為 S0，15CM 設定座標為 S1，30 CM 設定座標為 S2，最上方 45 CM 設定座標為 S3，並使用兩條分割線區別，且因影片有時間設定功能，1 秒等於 30 幀。

中央差分法說明，如圖十五車窗在第 S2 點的位置時，電動窗馬達的速度  $v_2$  可由(1)式如圖十六求得。

$$v_2 = \frac{dS}{dt} \doteq \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{S_3 - S_1}{t_3 - t_1} \quad (\text{中央差分法}) \quad (1)$$

圖十六 中央差分法

依照此公式分別將電動車窗使用不同潤滑劑到達 S1、S2、S3 所需的時間(1 秒=30 幀)，利用表格整理如下：

潤滑劑名稱：3M 化清劑(T1：1 秒 15 幀 · T2：3 秒 4 幀 · T3：4 秒 17 幀)

S1 and T1



S2 and T2



S3 and T3

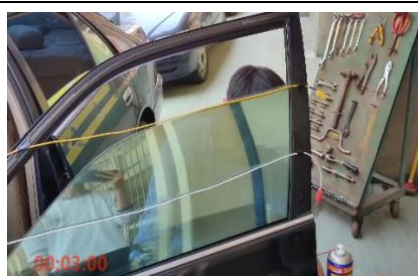


潤滑劑名稱：WD-40(T1：1 秒 16 幀 · T2：3 秒 · T3：4 秒 13 幀)

S1 and T1



S2 and T2



S3 and T3

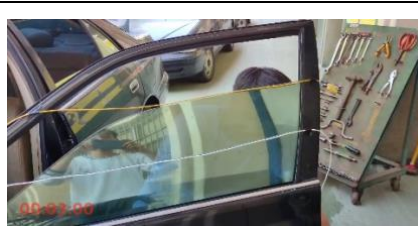


潤滑劑名稱：肥皂水(T1：1 秒 18 幀 · T2：3 秒 · T3：4 秒 10 幀)

S1 and T1



S2 and T2



S3 and T3

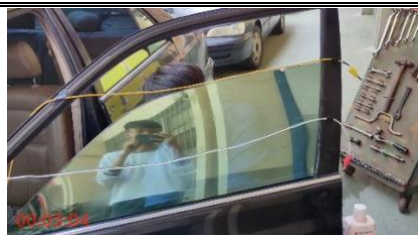


潤滑劑名稱：保護蠟(T1：1 秒 18 幀 · T2：3 秒 04 幀 · T3：4 秒 22 幀)

S1 and T1



S2 and T2



S3 and T3

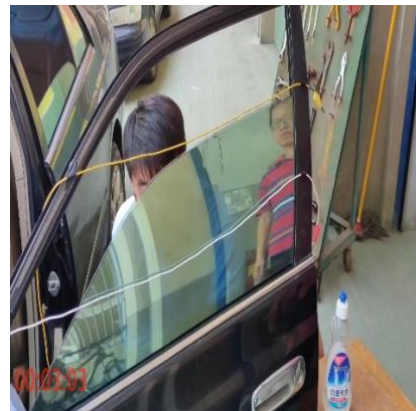


潤滑劑名稱：洗碗精(T1：1 秒 16 幀 · T2：3 秒 03 幀 · T3：4 秒 19 幀)

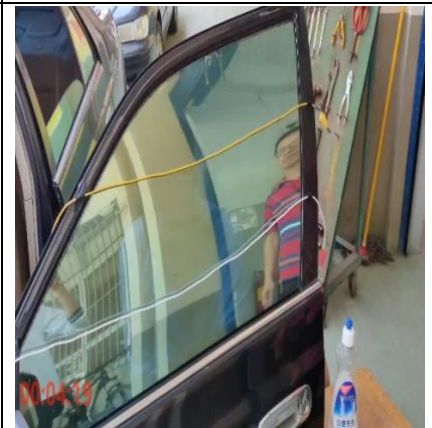
S1 and T1



S2 and T2



S3 and T3



潤滑劑名稱：拆膠條(T1：1 秒 27 幀 · T2：3 秒 08 幀 · T3：4 秒 15 幀)

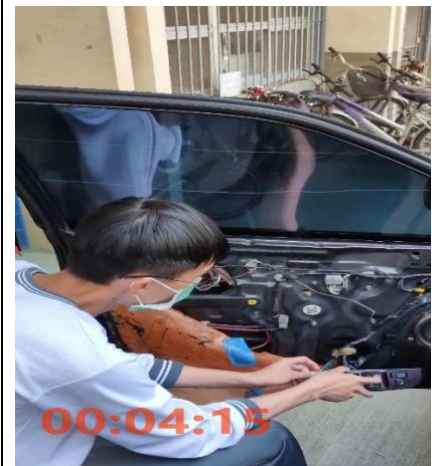
S1 and T1



S2 and T2



S3 and T3

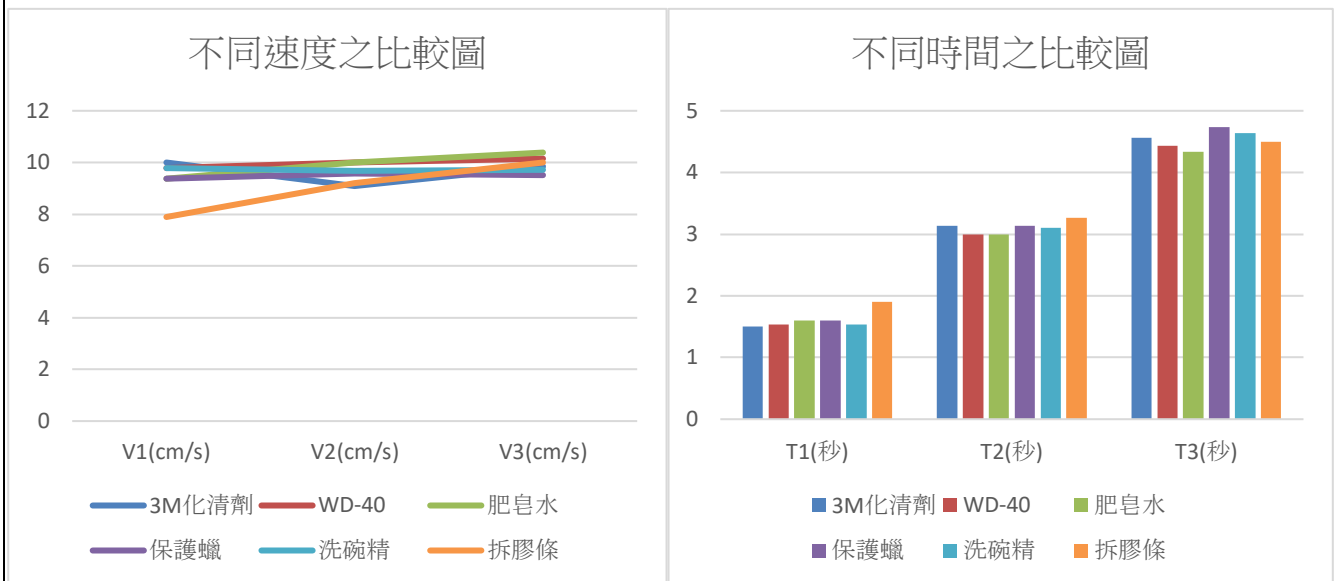


將上述之數據代入中央差分法之公式，可得不同潤滑劑之下電動窗在 S1(15cm)、S2(30cm)、S3(45cm)之速度 V1、V2、V3，將其帶入後所得的數據整理如下：

	T1(秒)	V1(cm/s)	T2(秒)	V2(cm/s)	T3(秒)	V3(cm/s)
3M 化清劑	1.5	10	3.133	9.090	4.566	9.855
WD-40	1.533	9.784	3.0	10	4.433	10.151
肥皂水	1.6	9.375	3.0	10	4.333	10.385
保護蠟	1.6	9.375	3.133	9.575	4.733	9.507
洗碗精	1.533	9.784	3.1	9.677	4.633	9.712
拆膠條	1.9	7.894	3.266	9.202	4.5	10

以速度作分析探討：不同的潤滑劑之差異非常小，肉眼看不出來，並不明顯。如圖十七  
 以時間作分析探討：不同的潤滑劑之差異非常小，肉眼看不出來，並不明顯。如圖十八

表二：不同時間之比較圖



圖十七：不同速度之比較圖

圖十八：不同時間之比較圖

## 五、結論與生活應用

這次的實驗我們學到了摩擦力、摩擦係數和如何計算摩擦力，摩擦力及摩擦係數，與接觸面積大小無關，最大靜摩擦力與接觸面積無關，最大經摩擦力與接觸面之正壓力成正比，溫度的變化對摩擦力影響較小。

本次潤滑劑效果都很好，如果以實用性考量的話，建議使用洗碗精或肥皂水比較不會殘留在車窗上。

對於生活的應用，舉凡因為摩擦力大於施力(咬死或鎖死)現象產生處於靜摩擦力狀態時，皆可使用潤滑劑使他變成動摩擦狀態。

## 參考資料

1. 余昌明，電動車窗最佳控制參數的探索，民 104，國立交通大學。
2. Sergey Petkun、Brose Fahrzeugteile、GmbH&co Kommanditgesellschaft、Berliner Ring，“Dynamic behaviour of power window regulator system”，ASIM2018, 24. Symposium Simulationstechnik, Hamburg.
3. McHale\*, Nan Gao, Gary G. Wells, Hernán Barrio-Zhang, and Rodrigo Ledesma-Aguilar，Friction Coefficients for Droplets on Solids: The Liquid-Solid Amontons' Laws, Glen·Langmuir 2022, 38, 14, 4425-4433 Publication Date:March 30, 2022
4. <https://slc.nstm.gov.tw/Teaching/Details.aspx?Parser=99,4,26,,,,34> 「摩」力四射 - 國立科學工藝博物館科學學習中心。