

在不同負載作用下兩刷膠條之響應量測與探討

王栢村¹ 郭聖民¹ 徐詩瑜¹ 蔡曜光¹ 蔡俊郎² 吳盈輝³

¹ 國立屏東科技大學 機械工程系

² 台灣云意科技有限公司

³ 國立內埔高級農工職業學校機械科

wangbt@mail.npust.edu.tw

摘要

雨刷為汽車零組件的重要組件之一，主要在清除擋風玻璃上的雨水，使駕駛員能有良好的視野，以能安全行駛。如何避免雨刷在刷拭過程引起不必要的噪音或振動是重要的議題。本文將應用圓盤刷拭機，探討雨刷於不同下壓力之刷拭過程的膠條振動特性，包括：膠條摩擦係數、膠條支架垂直向加速度、膠條刀口位移及刀口速度與刷拭速度的關聯性。透過圓盤刷拭機，模擬雨刷實際刷拭工況，對雨刷施加 6 N/m、10 N/m、20 N/m、30 N/m、35 N/m、40 N/m 等六種不同下壓力，以 1.7 mm/s 至 997 mm/s 刷拭速度進行刷拭試驗，每提升一個階段刷拭速度，會定速運轉 10 秒，同時透過感測器進行量測。由雷射都普勒振動計量測膠條刀口位移與速度，加速規量測膠條支架垂直向之加速度，力感測器量測刷拭側向力，並據以推算膠條摩擦係數。對量測數據進行後處理分析，進而探討刷拭之穩定性。結果顯示，膠條在特定的下壓力及刷拭速度之組合，會引發不同程度的振動響應，可以對膠條的動態特性進行量化分級，有助於評估膠條刷拭狀態的穩定區域與不穩定區域。所發展的試驗與分析方法，可進一步研究如不同雨水量及膠條攻擊角，對膠條動態響應之影響，以期提供膠條設計之參考。

關鍵詞：雨刷膠條、圓盤刷拭機、不同負載、振動響應、量測。

1. 前言

實車刷拭時，礙於玻璃曲面及彈片弧形設計的不同，無法創造整支雨刷於單一均佈下壓力的工況，又因實際刷拭之攻擊角與刷拭速度會隨時間改變，因此對於探討膠條於不同工況的刷拭性能有其困難性。本文透過圓盤刷拭機以平面玻璃與可調式膠條支架，模擬出整支膠條承受均佈壓力的工況，並且透過支架的旋轉，調整單一攻擊角度，可控制圓盤玻璃轉動的速度變化，來創造出不同刷拭速度的工況，然而本文只在進行不同下壓力與刷拭速度的組合工況，對於刷拭性能的影響，因此採用 0 度攻擊角的工況進行下壓力與刷拭速度的組合工況刷拭性能試驗。

透過圓盤刷拭機的前導實驗，發現於相同工況時，膠條振動會因為刷拭速度的變異有明顯變化，表示振動並非全然與刷拭速度成正比，實際上有一個範圍的刷拭速度振動特別大。因此為了探討刷拭過程中兩刷

膠條的振動特性，本文模擬兩刷常用之不同下壓力於圓盤刷拭機進行模擬實驗，探討摩擦係數、膠條支架垂直玻璃的振動響應、膠條刀口位移及速度的變化。

為了瞭解兩刷本身及動態特性，首先進行相關的文獻回顧。王等人[1]利用複合型雨刷進行靜力分析及響應預測取得兩刷膠條底部之反作用力，推測兩刷膠條底部產生反作用力現象原因可能為與玻璃間的摩擦係數有關。王等人[2]透過有限元素分析軟體 ANSYS 針對整體兩刷及骨架進行靜力分析，以求得兩刷之受力位置及分布，從靜力分析可得知，兩刷膠條之反作用力與應力分布有不均勻狀況，且兩者有相互對應之趨勢，因此判定反作用力為影響兩刷膠條之應力主因，需對兩刷結構進行修正。方和陳[3]利用 Pin-on-disc 磨耗試驗機探討兩刷膠條於乾刷及濕刷於不同下壓力之下的影響，結果顯示，在濕刷的情況下，摩擦係數隨著負載的增加而減少，且發現當負載超過 50 N/m 時，摩擦係數與負載的關係較不明顯。黃和陳[4]探討汽車單臂雨刷動態分析，利用 ADAMS 分析兩刷動態特性，藉由觀察應力、應變及形變得知兩刷於刷拭過程中，於特定的條件下，兩刷均勻地服貼於玻璃上。賴[5]以電腦輔助工程分析(Computer Aided Engineering, CAE)方式進行分析研究，針對兩刷在不同角度及速度下時的貼附力大小，並判斷升力是否會造成兩刷脫離玻璃，而影響刷拭品質。從分析結果可得知升力會隨速度提升而增加，影響兩刷刷拭效益。

Koenen and Sanon[6]以兩刷膠條的應用探討橡膠與玻璃之間關於摩擦的影響，在濕刷的情況下，隨著負載的增加，導致摩擦係數減少，但當玻璃上的水蒸發後，形成乾燥玻璃時，摩擦係數相對較高。Bódai and Goda[7]探討兩刷的潤滑狀態，透過力傳感器，分別運用不同的速度，於乾刷及濕刷的情況下，並同時量測水平和垂直向，實驗發現水有明顯降低摩擦的作用，而在邊界潤滑的狀態下，摩擦係數與負載有很大的關聯性。Awang et al.[8]為探討兩刷刷拭之穩定性，使用 ABAQUS 進行特徵值分析，以有限元素分析(Finite Element Method, FEA)取得自然頻率並透過實驗模態分析(Experimental Modal Analysis, EMA)進行驗證，經由加速度響應的量測實驗，發現振動主要產生在兩刷初始及結束的刷拭區域，因此透過修改兩刷膠條的膠條刀口之攻擊角來減少振動量。Hong et al.[9]使用圓盤刷拭機並以麥克風以雷射位移計進行聲音與振動量的量測，同時探討麥克風與雷射位移計量測信號之差異，由刷拭過程的時間域圖可發現，振動量會隨著噪音的

產生而增加，且兩者的頻率相同，也具有倍數頻率的特性。Yu et al.[10]為改善兩刷膠條在翻邊時產生的噪音，透過 ADAMS 進行動態分析，發現兩刷膠條產生翻邊時，玻璃所受到的壓力會大幅增加，使膠條與擋風玻璃之間的摩擦力變大，且由兩刷膠條結構圖可發現，頸部為最薄的部位，可承受的扭轉力矩最小，因此需改變膠條頸部之設計。

本文主要探討，膠條於特定下壓力及刷拭速度組合工況條件下之振動特性，並對其動態特性進行量化分級，進而評估膠條刷拭狀態的穩定區域與不穩定區域，並尋找最佳的下壓力與刷拭速度之組合，以期提供膠條設計之參考，提升整體刷拭品質。

2. 圓盤刷拭機實驗架構與量測作業流程

本文目的主要探討兩刷膠條於刷拭時之穩定性，界定整體刷拭過程之穩定區與不穩定區。發展設計了實驗架構及量測作業程序，圖 1 為圓盤刷拭機實驗方法與分析流程圖，圖 2 為整體實驗量測架設示意圖。

為了測試膠條的振動特性，本實驗規劃取 10 公分長的膠條試片，安裝於支架上，模擬膠條和彈片的組合，並將支架與膠條安置於圓盤刷拭機上，進行刷拭實驗以及應用感測器來擷取膠條振動相關數據，以下簡述實驗儀器的使用與說明。

由圖 2，採用(A)圓盤刷拭系統，進行實驗量測，包含：圓盤刷拭機及 LabVIEW 圓盤刷拭控制系統。圓盤刷拭機可控制刷拭速度的範圍： $V(t)=1.7\sim 997$ mm/s，每提升一階速度，定速運轉 10 秒，以 LabVIEW 建立的介面控制程式，可控制調整圓盤刷拭系統的圓盤刷拭速度，同時，並可擷取所有感測器的原始數據(raw data)。

應用(B)刷拭力量量測系統，安置於支架上方，可量測刷拭方向之側向力 $f_s(t)$ ，進而可推算摩擦係數 $\mu(t)$ ，計算與定義如下：

$$\mu(t) = \frac{f_s(t)}{f_n(t)} \quad (1)$$

其中， $f_n(t)$ 是垂直下壓力，係透過施加不同質量的砝碼，以控制不同的下壓力。砝碼配重在模擬負載分別為 6 N/m，10 N/m，20 N/m，30 N/m，35 N/m 以及 40 N/m，6 種工況進行實驗。

圖 2 左上角為膠條與支架示意圖，加速規安置於支架上方，可量測膠條支架垂直 z 方向的振動響應 $a(t)$ 。以(C)雷射都普勒振動計，由雷射感測頭投射雷射點至膠條刀口中心點位，經由雷射位移計訊號控制與解碼器，可量測到膠條刀口的 X 方向之位移響應 $x(t)$ 、以及速度響應 $v(t)$ 。

實驗儀器信號量測流程如圖 3 所示，加速規、雷射都普勒振動計與力感測器的量測信號經由 NI-9234 訊號擷取卡傳輸至電腦的 LabVIEW 控制系統，電壓經靈敏度轉換後得到時間域訊號，而刷拭速度量測信號則是經過 NI-6001 訊號擷取卡傳輸，此外，馬達運轉是透過電源供應器提供 24V 電壓，並透過擷取卡 NI-6001 傳輸電壓進行運轉速度控制。

在不同下壓力的實驗前後，應用(D) CCD 膠條幾何變形量測系統，觀察與紀錄膠條截面之變形量。

實驗規劃係以全程速度為 1.7~997 mm/s，進行不同刷拭速度的試驗，刷拭中，以定量計控制固定水量為 4 L/hr，連續給予 1 分鐘，於高速運轉時，水量為 5 L/hr，以確保實驗保持濕刷狀態以及水膜的建立。

透過各感測器，可以量測得到原始數據，包括：刷拭速度 $V(t)$ 、摩擦係數 $\mu(t)$ 、刃口位移 $x(t)$ 、刃口速度 $v(t)$ 、支架垂直加速度 $a(t)$ ，依照時間與刷拭速度的對應，可以進行後處理得到不同刷拭速度下的評估指標，包括：摩擦係數、刃口位移、刃口速度、以及支架垂直加速度。以刃口速度為例，不同刷拭速度的評估指標之計算與定義如下：

$$v_{mean}(V) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \quad (2)$$

$$v_{rms}(V) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i^2} \quad (3)$$

$$v_{mean-min}(V) = v_{mean}(V) - v_{min}(V) \quad (4)$$

$$v_{max-mean}(V) = v_{max}(V) - v_{mean}(V) \quad (5)$$

$$v_{CF+}(V) = \frac{v_{max}(V)}{v_{rms}(V)} \quad (6)$$

$$v_{CF-}(V) = \frac{v_{min}(V)}{v_{rms}(V)} \quad (7)$$

相關變數符號及其說明與單位，請參考附錄 A。

由平方平均根 RMS 與尖峰係數 CF 所得數值，可觀察整體振動量，於各區間可建立一標準值，將刃口速度在不同刷拭速度，以 RMS 量值共分為三個級別，界定兩刷膠條於刷拭時之穩定區與不穩定區，以利後續探討應用。

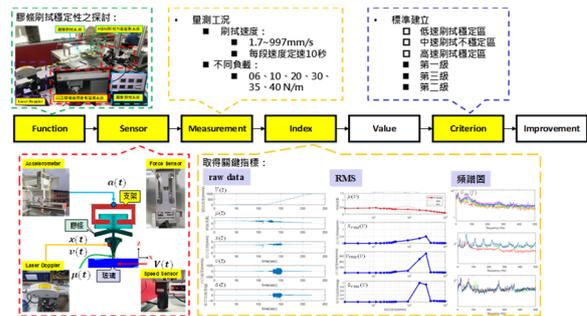


圖 1、圓盤刷拭機實驗方法與分析流程圖

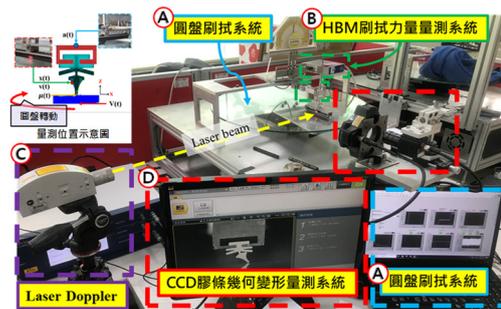


圖 2、實驗儀器架設示意圖

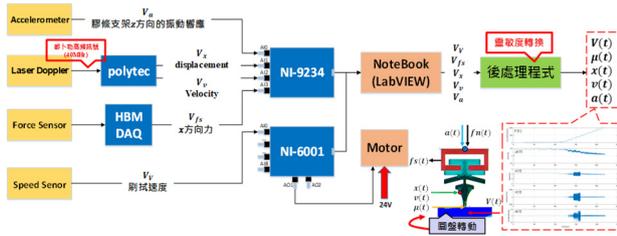


圖 3、實驗儀器信號量測流程圖

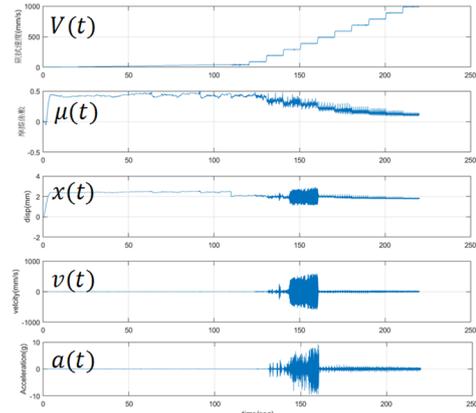


圖 4、原始量測數據之時間波形圖

3. 實驗量測信號分析及振動特性評估指標

為了探討與解析刷拭振動現象，本節說明實驗量測信號分析與振動特性評估指標理念。圖 4 為原始量測數據之時間波形圖，整體時間波形是由 22 段刷拭速度，各別刷拭 10 秒所獲得，因此量測數據將會透過圖 5 分析流程進行信號後處理，每一段刷拭速度對應之時間域，都將個別進行指標計算、快速傅立葉轉換與時頻分析，最終可分別觀察到不同刷拭速度下振動評估指標、頻譜圖與時頻圖的變化趨勢。

本文主要探討刀口速度之振動特性，為能夠較直觀的反應刷拭振動情形，所有刀口速度振動評估指標如式(2)~式(7)所示，包括 $v_{mean}(V)$ 、 $v_{rms}(V)$ 、 $v_{mean-min}(V)$ 、 $v_{max-mean}(V)$ 、 $v_{CF+}(V)$ 與 $v_{CF-}(V)$ 。

以圖 6(a)為例， $v_{rms}(V)$ 可以觀察到特定刷拭速度區間有振動量升高的現象，其能直觀的反應刀口振動嚴重程度； v_{mean} 用於探討刀口速度的偏位；透過 $v_{max-mean}$ 與 $v_{mean-min}$ 的比對可觀察兩刷刀口朝刷拭方向與回彈方向之速度差異； v_{CF+} 與 v_{CF-} 之整體趨勢可看出具有明顯三段特徵，可分別對應出低速刷拭穩定區、中速刷拭不穩定區及高速刷拭穩定區，未來可嘗試探討此指標與刷拭不穩定區域之關聯性。此外，膠條支架所量測之 z 方向加速度時間域，亦進行對應的振動評估指標計算，如圖 6(b)所示，可觀察到所有指標整體趨勢皆與刀口速度指標趨勢對應，表示未來於實車量測，可透過支架 z 方向加速度振動評估指標反應出刷拭振動情形。

為利於膠條刷拭振動特性的探討，本節將刀口刷拭振動嚴重程度，由低到高分為 3 個級別， $v_{rms}(V)$ 小於 4 mm/s 屬於第一級振動， $v_{rms}(V)$ 介於 4~12 mm/s 屬於第二級振動， $v_{rms}(V)$ 大於 12 mm/s 屬於第三級振動，後續可藉由振動級別分佈的情形來界定刷拭狀態穩定區域與不穩定區域。

除了振動評估指標與級別，本文也透過頻譜特徵解析刀口刷拭振動特性，將時間域進行快速傅立葉轉換與時頻分析，可取得頻譜圖 $G_{vv}(f)$ 與時頻圖 $G_{vv}(t, f)$ ，以圖 7 範例作為說明，頻譜圖與時頻圖可觀察到整體的振動頻率組成與振幅、刀口速度分佈與總量隨著時間的變化。

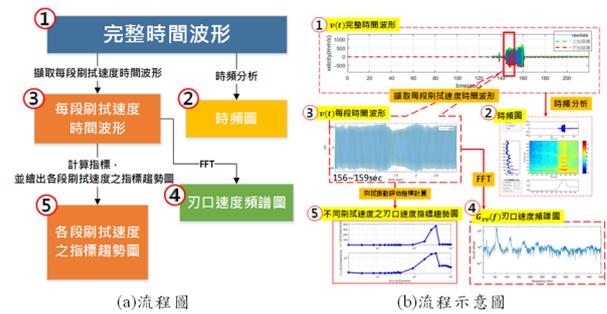


圖 5、實驗量測數據後處理分析流程圖

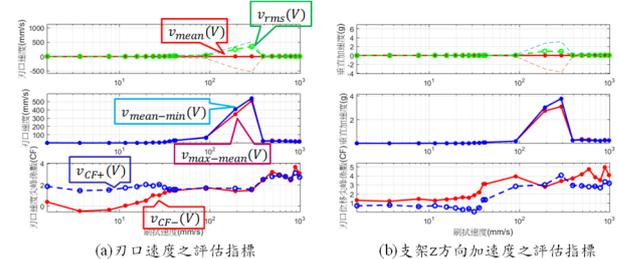


圖 6、膠條在 35 N/m 下壓力於不同刷拭速度之評估指標

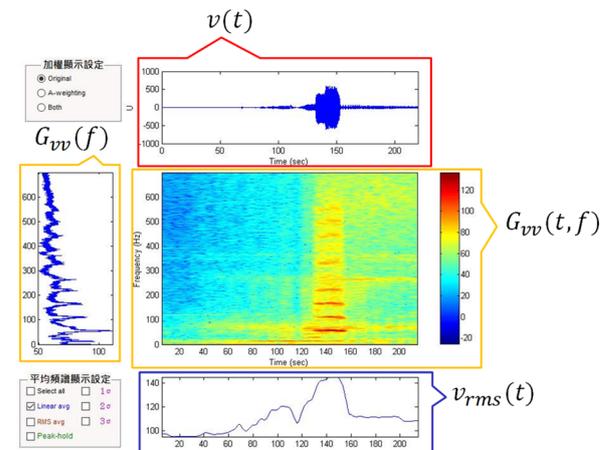


圖 7、膠條在 35 N/m 下壓力於不同刷拭速度之刀口速度時間波形與時頻分析圖

4. 結果與討論

4.1 不同刷拭速度的膠條振動特性探討

本節以下壓力 35 N/m 之工況進行刷拭實驗與量測，探討不同刷拭速度之膠條振動特性，圖 8 為膠條於不同刷拭速度之刀口速度 $v(V)$ 與支架加速度 $a(V)$ 指標趨勢圖，圖中 x 軸為刷拭速度，y 軸為 v_{rms} 量值，由於每次實驗共有 22 段刷拭速度，每段刷拭速度對應之時間域經式(3)計算後，共取得 22 個 v_{rms} ，並繪成趨勢線，每段時間域亦進行快速傅立葉轉換獲得刀口速度頻譜 $G_{vv}(f)$ ，由 v_{rms} 的趨勢變化，可以觀察到刷拭速度 19.53 mm/s 之前刀口振動相當小，刷拭振動程度亦都屬於第一級振動，當刷拭速度由 23.53 mm/s 逐漸升高至 388.65 mm/s 時，刷拭振動也伴隨越嚴重，刷拭振動程度大多數屬於第二、三級振動，從時間域與頻譜也可發現其出現明顯的峰值特徵。而當刷拭速度到達 488.28 mm/s 之後，整體振動量下降並趨於穩定，刷拭振動程度皆屬於第二級振動，由此可知，膠條振動特性與下壓力組合於刷拭速度 19.53 mm/s 以下為其低速刷拭穩定區，刷拭速度 23.53~388.65 mm/s 為其刷拭不穩定區，而刷拭速度 488.28 mm/s 以上為高速穩定區，從加速度 a_{rms} 指標亦可以觀察到相同現象。

從頻率域的角度來看，也可發現穩定區與不穩定區存在明顯不同的特徵，圖 9 為膠條於不同刷拭速度下，在 35 N/m 下壓力之刀口速度頻譜圖，圖 9(a) 為低速穩定區、圖 9(b) 為中速刷拭不穩定區，圖 9(c) 為高速刷拭穩定區。為了比較速度頻譜的量值關係，以紅色虛線畫出刀口速度為 1 mm/s，藍色虛線為 0.1 mm/s，黑色虛線為 0.01 mm/s，做為區分。綜合討論如下：

- (1) 圖 9(a) 為低速穩定區：於低速刷拭時，在低頻帶有兩個峰值，介於 0.01~1 mm/s 之間。100Hz 以上之高頻帶頻譜較平緩，分布於 0.01 mm/s 以下。
- (2) 圖 9(c) 為高速刷拭穩定區：於高速刷拭時，在低頻帶同樣有兩個峰值，皆為 1 mm/s 以上。100Hz 以上之高頻帶頻譜介於 0.01~0.1 mm/s 之間，且具有 2 個大於 0.1 mm/s 峰值。
- (3) 圖 9(b) 為中速刷拭不穩定區：於中速刷拭時，整體頻譜具有數個 1 mm/s 以上峰值。刷拭速度 90.03 mm/s 時，在 100Hz 以上之高頻帶頻譜介於 0.01~0.1 mm/s 之間，並於低頻帶產生倍數頻率。

由圖 9 可以區別出低速刷拭穩定區、中速刷拭不穩定區及高速刷拭穩定區，此外，圖 10 為膠條於不同刷拭速度，在 35 N/m 下壓力之刀口速度頻譜比較，分別各取一速度對應，探討不同刷拭速度之刀口頻譜。綜合討論如下：

- (1) 在低速刷拭穩定區時，頻率越高，頻譜量值越小，推測可能為刷拭速度較小。
- (2) 在高速刷拭穩定區時，有兩個明顯峰值頻率，可能與膠條模態相關。
- (3) 在中速不穩定區時，有倍數峰值頻率，頻譜量值高。

圖 11 為膠條於下壓力 35 N/m 之不同刷拭速度的刀口速度時頻圖。係利用時頻分析探討膠條於不同刷拭速度下刀口速度的特性，分別以低速刷拭穩定區、

中速刷拭不穩定區及高速刷拭穩定區，探討其特徵：

- (1) 於低速刷拭穩定區時，隨速度提升，頻率亦有提升的趨勢，但整體頻率量值仍較低。
- (2) 在高速刷拭穩定區時，不同速度的頻譜趨勢相同，整體頻譜量值高。
- (3) 在中速刷拭不穩定區時，有明顯倍數峰值頻率之特性，但高頻帶量值逐漸降低。

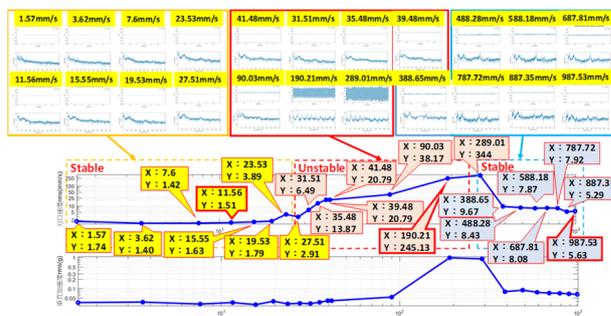


圖 8、膠條在 35 N/m 下壓力於不同刷拭速度之刀口速度與支架加速度的趨勢圖

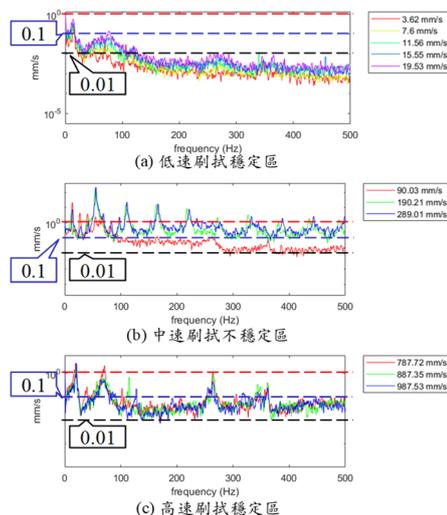


圖 9、膠條於不同刷拭速度，在 35 N/m 下壓力之刀口速度頻譜圖

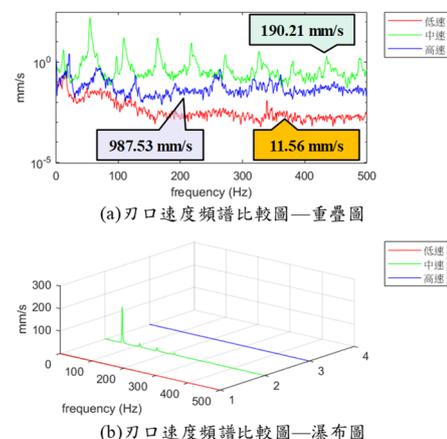


圖 10、膠條於不同刷拭速度，在 35 N/m 下壓力之刀口速度頻譜比較

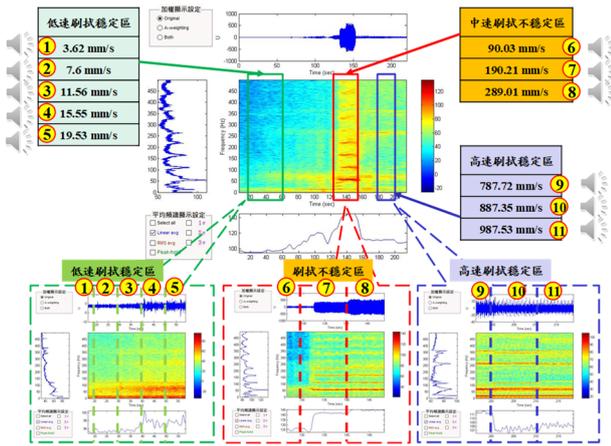


圖 11、膠條於下壓力 35 N/m 之不同刷拭速度的刀口速度時頻圖

4.2 不同下壓力的膠條振動特性探討

本節將探討不同下壓力 6 N/m、10 N/m、20 N/m、30 N/m、35 N/m 與 40 N/m 於不同刷拭速度之膠條振動特性，最終找出不同下壓力與刷拭速度組合的刷拭品質狀態。

圖 12 為膠條於不同下壓力之不同刷拭速度的指標趨勢比對圖，x 軸皆為刷拭速度，y 軸由上到下分別為摩擦係數 μ_{rms} 、刀口 x 方向位移 x_{rms} 、刀口 x 方向速度 v_{rms} 、支架 z 方向加速度 a_{rms} ，綜合討論如下：

- (1) 摩擦係數指標比較圖，可觀察到下壓力與摩擦係數呈反比，當下壓力越大時，摩擦係數則越小，其中 6 N/m 在低刷拭速度區間摩擦係數大於 0.9，其餘下壓力的摩擦係數則皆大約分佈於 0.5~0.7 區間。
- (2) 由刀口速度 v_{rms} 指標可觀察到，所有下壓力之趨勢線顯示其皆有著相近的低速穩定區與高速穩定區範圍，而中速刷拭不穩定區的特徵則各有不同，如圖 12(b) 所示，30 N/m、35 N/m 與 40 N/m 的刷拭不穩定範圍與抖動程度皆較大，其中又以 35 N/m 最為嚴重，其不穩定範圍最為廣泛，而下壓力最小的 6 N/m 不穩定範圍與抖動程度也偏高，表示下壓力過小或過大都容易引起刷拭抖動。
- (3) 由趨勢比對結果可知，此膠條處於 20 N/m 的下壓力有著較佳的刷拭品質。加速度 a_{rms} 也可觀察到相同趨勢。

膠條於不同下壓力之不同刷拭速度的 v_{rms} 總表如表 1 所示，可以觀察到：

- (1) 所有下壓力於刷拭速度 19.53 mm/s 以下時，刷拭振動程度皆屬於第一級振動，屬於低速刷拭穩定區。
- (2) 刷拭速度介於 19.53~488.28 mm/s 之間時，可發現下壓力 6 N/m 至 20 N/m，刀口速度會逐漸降低，而下壓力達到 30 N/m 之後，隨著下壓力越大刀口速度亦會越大，且在各下壓力中皆出現第一級到第三級振動，刷拭過程非常不穩定。

- (3) 所有下壓力於刷拭速度 488.28 mm/s 以上時，刷拭振動程度皆屬於第二級振動，屬於高速刷拭穩定區，表示刷拭穩定區與不穩定區可界定出明確的差異。

結果顯示，膠條於下壓力 20 N/m 時僅有在刷拭速度為 190.21 mm/s 達到第三級振動，對於此膠條之壓力分佈來說，20 N/m 為較佳的下壓力設計，整體而言，若此膠條刷拭時避開 23.53~488.28 mm/s 之間的刷拭不穩定區，各下壓力分佈皆可獲得良好的刷拭品質。

圖 13 為透過表 1 數值所繪製之等高線圖(contour plot)，透過等高線圖的顏色分佈，能夠直觀的檢視刷拭不穩定區間與對應的振動量值，可發現最嚴重的刷拭振動發生在下壓力為 30 N/m~40 N/m 的 190.21~388.65 mm/s 刷拭速度區間。

透過時頻分析，以時頻圖的角度檢視不同下壓力對刷拭品質之影響。圖 14 為膠條於不同下壓力之不同刷拭速度的刀口速度時間域與時頻圖，綜合討論如下：

- (1) 圖 14(a) 為 6 N/m 下壓力：整體之振幅較低，比其他下壓力更早產生振動，低速時振動量值低，而在中速為產生振動主要區域，高速時振動明顯下降。
- (2) 圖 14(b) 為 10 N/m 下壓力：整體振幅最低，低速時振動量值低，中速為主要產生振動位置，但起伏不大，高速時量值依舊不高。
- (3) 圖 14(c) 為 20 N/m 下壓力：整體振幅比 6 N/m 及 10 N/m 高，振動主要貢獻帶在於中速與高速。
- (4) 圖 14(d) 為 30 N/m 下壓力：低速量值低、中速產生明顯較大振動，頻率也較高，而時頻圖中的高速區，有明顯 3 條振動頻譜線。
- (5) 圖 14(e) 為 35 N/m 下壓力：低速量值低、中速產生明顯較大振動，頻率也較大，而時頻圖中的高速區，有明顯 3 條振動頻譜線。
- (6) 圖 14(f) 為 40 N/m 下壓力：低速量值低、中速產生明顯較大振動，頻率也較大而時頻圖中的高速區，有明顯 3 條振動頻譜線，且量值最大。

接著進行頻譜分析取得頻譜圖，以頻譜角度觀察不同下壓力之刀口速度特徵，為了比較不同下壓力頻譜的量值關係，延續使用 4.1 節之標示線探討整體頻率量值的大小。圖 15 為不同下壓力在不同刷拭速度之刀口速度的頻譜圖。綜合討論如下：

- (1) 圖 15(a) 為 11.56 mm/s 低速刷拭穩定區：所有下壓力之頻譜趨勢幾乎相同，刀口速度量值低，且主要振動貢獻皆在 100 Hz 前。
- (2) 圖 15(b) 為 190.21 mm/s 中速刷拭不穩定區：所有下壓力皆有出現明顯倍數頻率峰值現象，且下壓力越大，刀口速度越大，隨著頻率增加，刀口速度仍會維持一定量值。
- (3) 圖 15(c) 為 987.53 mm/s 高速刷拭穩定區：不同下壓力之頻譜趨勢相近，刀口速度整體量值較低速刷拭穩定區高，且會伴隨 3~4 個明顯峰值，但透過表 2 膠條於不同下壓力之不

同刷拭速度的刃口速度頻率總表以及圖 15(b) 做對比，可以觀察到沒有明顯的倍數頻率峰值現象。

結果顯示，刷拭不穩定狀態將伴隨倍數頻率峰值現象產生，未來可藉由解析刷拭振動頻譜的倍數頻率峰值特徵，判斷膠條處於刷拭不穩定狀態，達到快速評估之目的。

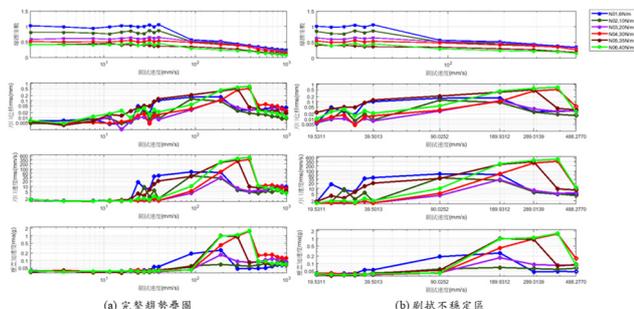


圖 12、膠條於不同下壓力之不同刷拭速度的指標趨勢比對圖

表 1、膠條於不同下壓力之不同刷拭速度的刃口速度平方平均根值總表

速度區間	刷拭速度	06 N/m	10 N/m	20 N/m	30 N/m	35 N/m	40 N/m
低速 刷拭穩定區	1.57 mm/s	1.72	1.69	1.74	1.75	1.74	1.77
	3.62 mm/s	1.47	1.43	1.41	1.40	1.41	1.39
	7.6 mm/s	1.49	1.43	1.42	1.43	1.42	1.45
	11.56 mm/s	1.52	1.57	1.50	1.46	1.51	1.51
	15.55 mm/s	1.45	1.54	1.45	1.42	1.63	1.47
	19.53 mm/s	1.67	1.56	1.50	1.50	1.79	1.48
中速 刷拭不穩定區	23.53 mm/s	18.23	1.77	1.51	1.48	3.89	1.97
	27.51 mm/s	8.24	9.22	1.58	1.63	2.92	2.00
	31.51 mm/s	6.80	2.49	1.53	1.50	6.50	1.68
	35.48 mm/s	37.51	5.87	1.82	1.88	13.88	2.70
	39.48 mm/s	42.85	1.96	1.72	1.53	20.80	2.03
	41.48 mm/s	42.85	2.48	1.54	1.53	20.80	4.06
	90.03 mm/s	69.47	41.38	4.08	5.40	38.17	10.31
	190.21 mm/s	65.66	30.33	32.87	70.23	245.13	264.92
高速 刷拭穩定區	289.01 mm/s	6.24	6.62	7.81	293.24	344.00	404.60
	388.65 mm/s	4.84	5.00	5.33	366.83	9.67	488.59
	488.28 mm/s	5.23	4.05	5.96	10.77	8.44	11.13
	588.18 mm/s	5.37	5.40	6.25	11.38	7.87	8.53
	687.81 mm/s	7.88	4.74	8.86	11.76	8.08	8.06
	787.72 mm/s	8.80	6.20	9.58	10.38	7.93	6.73
	887.35 mm/s	8.74	4.67	11.00	8.43	5.30	5.08
	987.53 mm/s	9.75	4.51	6.02	7.45	5.63	4.03

第一級振動： v_{rms} 小於 4 mm/s (藍色)
第二級振動： v_{rms} 4~12 mm/s (黃色)
第三級振動： v_{rms} 大於 12 mm/s (紅色)

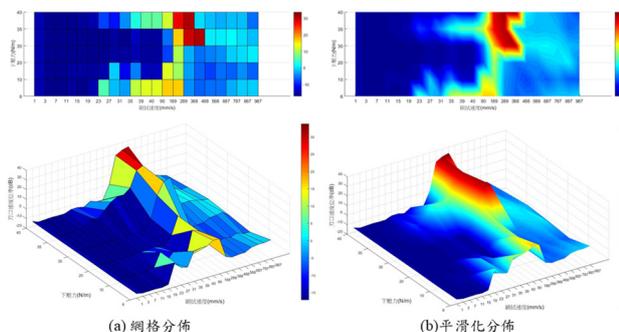


圖 13、膠條於不同下壓力之不同刷拭速度的刃口速度標準分佈圖

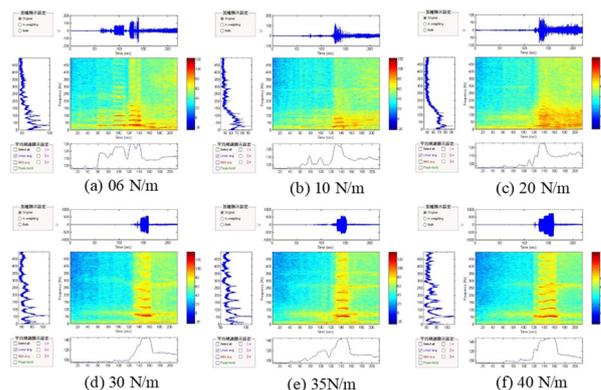
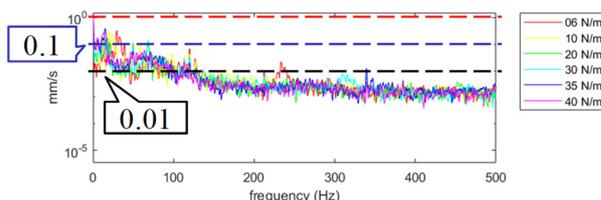
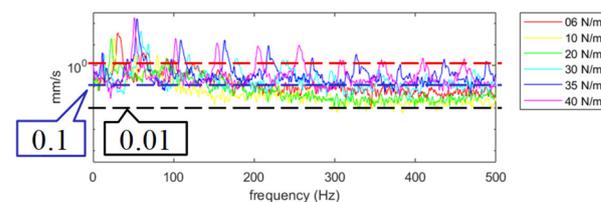


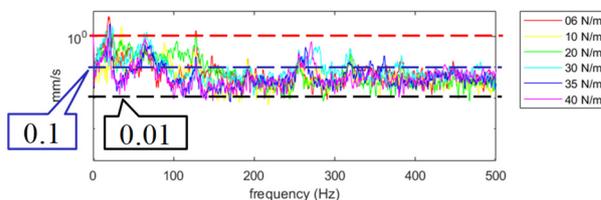
圖 14、膠條於不同下壓力之不同刷拭速度的刃口速度時間域與時頻圖



(a) 11.56 mm/s 低速刷拭穩定區



(b) 190.21 mm/s 中速刷拭不穩定區



(c) 987.53 mm/s 高速刷拭穩定區

圖 15、膠條於不同下壓力之不同刷拭速度的刃口速度頻譜圖

表 2、膠條於不同下壓力之不同刷拭速度的刃口速度頻率總表

刷拭速度	下壓力	自然頻率 (Hz)				
		06N/m	10 N/m	20 N/m	30 N/m	35 N/m
11.56 mm/s	29	19.67	10.67	10.67	15.00	13.33
	120	58.67	18.00	50	72.34	64.00
	--	97.34	49.67	68.34	120.00	293.00
	--	120.00	69.00	120	339.30	--
190.21 mm/s	30.30	26.67	22.67	13.00	11.67	11.33
	60.70	53.00	33.67	59.67	54.67	51.34
	92.30	79.67	45.34	119.00	109.30	102.70
	125.30	--	68.67	178.00	163.00	154.00
987.53 mm/s	19.70	35.67	23.33	16.00	21.00	18.33
	128.00	88.33	104.30	24.67	71.34	64.00
	319.00	127.70	127.70	66.34	127.70	127.70
	--	191.70	191.70	127.70	264.00	271.00

5. 結論

本文建立圓盤刷拭機之實驗量測作業程序，探討膠條於特定的下壓力及刷拭速度組合之振動特性，並對其動態特性進行量化分級，進而評估膠條刷拭狀態的穩定區域與不穩定區域，得到以下結論：

- (1) 膠條於特定的下壓力及刷拭速度組合，會引發不同程度的振動響應，實驗結果顯示，本文採用的膠條於刷拭速度 19.53~488.28 mm/s 時屬於刷拭不穩定區，膠條設計應盡量降低此刷拭速度範圍之振動響應。
- (2) 對於本文探討的膠條壓力分佈來說，20 N/m 為最佳的下壓力設計，下壓力過小或過大都容易引起刷拭抖動。
- (3) 膠條支架所量測之 z 方向振動評估指標，整體趨勢皆與刀口速度指標趨勢對應，表示未來於實車量測，可透過支架 z 方向加速度振動評估指標反應出刀口刷拭振動情形。
- (4) 刷拭不穩定狀態會伴隨倍數頻率峰值現象產生，未來可藉由解析刷拭振動頻譜的倍數頻率峰值特徵，判斷膠條處於刷拭不穩定狀態，達到快速評估之目的。
- (5) 本文所發展的試驗與分析方法，可進一步研究如不同雨水量及膠條攻擊角，對膠條動態響應之影響，並與實車工況進行連結，以期提供膠條設計之參考。

附錄 A、圓盤刷拭機實驗量測數據與變數符號總表

變數符號	物理意義	單位
$a(t)$	膠條支架 z 方向的加速度響應	g
a_{rms}	膠條支架 z 方向的加速度響應平方平均根值	g
$v_{max}(V)$	膠條刀口 x 方向的速度響應最大值	mm
$v_{CF+}(V)$	膠條刀口 x 方向的速度響應正峰值之尖峰係數	--
$v_{CF-}(V)$	膠條刀口 x 方向的速度響應負峰值之尖峰係數	--
$v_{mean}(V)$	膠條刀口 x 方向的速度響應平均值	mm
$v_{min}(V)$	膠條刀口 x 方向的速度響應最小值	mm
$v_{rms}(V)$	膠條刀口 x 方向的速度響應平方平均根值	mm/s
$v(t)$	膠條刀口 x 方向的速度響應	mm/s
$V(t)$	刷拭速度	mm/s
$x(t)$	膠條刀口 x 方向的位移響應	mm
$\mu(t)$	摩擦係數	--

6. 參考文獻

- [1] 王栢村, 胡詠翔, 周冠程, 黃鈺展, 黃智群, 張明仁, 2015, 「複合型兩刷結構之模型驗證及接觸力分析」, 中華民國力學學會第三十九屆全國力學會議, 台北, 論文編號: D-1295。
- [2] 王栢村, 黃凱昱, 王文志, 王裕豐, 許富翔, 劉慶豐, 「兩刷之預應力分析與振動特性探討」, 第二十二屆中華民國振動與噪音工程學術研討會, 彰化, 論文編號: A1-4。
- [3] 方治國, 陳鴻瑋, 2012, 「汽車兩刷膠條磨潤測試機台之研製與實驗分析」, 國立宜蘭大學工程學刊, 第 8 期, 第 1-14 頁。
- [4] 黃榮文, 陳建良, 2013, 「汽車單臂兩刷動態分析」, 車輛工程學刊, 第 10 期, 第 103-114 頁。
- [5] 賴文光, 2013, 「兩刷貼附力流場分析研究」, 中華民國第十八屆車輛工程學術研討會, 屏東, 論文編號: A2-023。
- [6] A. Koenen and A. Sanon, "Tribological and Vibroacoustic Behavior of a Contact between Rubber and Glass (Application to Wiper Blade)," *Tribology International*, vol. 40, pp. 1484-1491, 2007.
- [7] G. Bódai and T.J. Goda, "Sliding Friction of Wiper Blade: Measurement, FE modeling and Mixed Friction simulation," *Tribology International*, vol. 70, pp. 63-74, 2014.
- [8] I.M. Awang, A. AbuBakar, B.A. Ghani, R. Rahman and M. Zain, "Complex Eigenvalue Analysis of Windscreen Wiper Chatter Noise and its Suppression by Structural Modifications," *International Journal of Vehicle Structures & Systems*, pp. 24-29, 2009.
- [9] J.G. Hong, H.R. Kim, H.I. Won, J. Chung and M.J. Yoon, "The Measurement of Squeal Noise for Wiper Blade Using the Rotating Circlepanel Experimental Equipment," *Proceedings of the Fall 2013 Art Conference of the Korean Society of Noise and Vibration Technology*, pp. 850-851, 2013.
- [10] Z. Yu, W. Qin, Q. Hou, M. Tang and R. Yang, "Dynamic Analysis of Wiper System and Noise Prediction of Blade Reverse," *SAE International*, No:2015-01-0106, 2015.



Response Measurement and Discussions for Operating Wiper Blade with Different Loadings

**Bor-Tsuen Wang¹, Sheng-Min Guo¹, Shih-Yu
Hsh¹, Yao-Kuang Tsai¹, Chun-Lang Tsai²,
Ying-Hui Wu³**

**¹Department of Mechanical Engineering,
National Pingtung University of Science and
Technology**

²Taiwan Yunyi Techonlogy Co.,Ltd.

**³Machinery Division, National Nei-Pu Senior
Agricultural-Industrial Vocational School
E-mail: wangbt@mail.npust.edu.tw**

ABSTRACT

Wiper is one of key components for automobiles, to clean the rainfalls on windshield and provide good vision for safe drive. To avoid wiper's noise and vibration during operation is of important. This work aims to use the rotary wiping device to emulate the wiping process and investigate the wiper blade's vibration characteristics, including blade friction coefficient, wiper frame's vertical acceleration, blade lip's displacement and velocity, related to wiping speeds. With the rotary wiping device, the wiper in practical wiping conditions is tested for different loadings, e.g. 6 N/m, 10 N/m, 20 N/m, 30 N/m, 35 N/m and 40 N/m, as well as different wiping speeds from 1.7 mm/s to 997 mm/s. Each step of wiping speeds is operating for 10 seconds, while sensors are applied to take the measurement. Laser Doppler vibrometer is to measure the blade lip's displacement and velocity, and the accelerometer is to capture the wiper frame's acceleration, while the force sensor is to get the lateral wiping force so as to obtain the blade's friction coefficient. The measured data is post-processed to discuss the stability of wiping process. Results show the wiper in specific loadings and wiping speeds will induce different levels of vibration that can be calibrated to grade the dynamic characteristics of wiper as well as to evaluate the stable and unstable regions for wiping conditions. The developed testing and analysis methodology can be adopted to study the effects of different levels of rainfalls and blade attacked angles on blade dynamic response and useful for wiper blade design.

Keywords: wiper blade, different loadings, vibration response, measurement