

兩刷膠條刷拭角度分析與實驗驗證

*王栢村¹、曾全佑²、蔡建雄²、徐詩瑜¹、郭聖民¹、吳盈輝³

¹ 國立屏東科技大學 機械工程系

² 國立屏東科技大學 車輛工程系

³ 國立內埔高級農工職業學校 機械科

*Email: wangbt@mail.npust.edu.tw

摘要

雨刷為車輛重要零組件之一，主要功能為清除擋風玻璃上的水珠、髒汙等，確保駕駛人行車視野清晰。膠條於擋風玻璃上刷拭時，刷拭角度為關鍵參數之一，為了探討兩刷膠條的刷拭特性，發展建立分析與實驗驗證之方法與流程。本文將透過電腦輔助工程分析(Computer Aided Engineering, CAE)軟體進行分析，並以 CCD 系統量測膠條於不同負載下膠條的幾何變形特徵，驗證的幾何參數包含位移變化量、膠條形變特徵以及擋風玻璃上的刷拭角。分別透過 CAE 進行正向分析與實驗量測來進行比對驗證。於帶有彈簧片之試驗夾具上安裝小塊的膠條試片，並對於膠條試片施加 6 至 35 N/m 之不同負載。CCD 系統可擷取膠條在動態變形下的幾何參數。透過 ANSYS 軟體進行正向分析模擬與實驗相對的刷拭過程。結果顯示，CAE 正向分析所得到的幾何形變與實驗量測比對吻合良好，刃口的偏移也顯示了合理的一致性，驗證了 CAE 分析模型的可行性與可靠性。未來可應用建立的分析模擬方法，探討不同型式膠條於不同摩擦係數之刷拭條件下的刷拭角度分析，並預測膠條於刷拭過程中的幾何形變狀態等問題。

關鍵字: 兩刷膠條、刷拭角度、正向分析、實驗量測

1. 前言

雨刷開發設計過程中，其中，刷拭角度為關鍵參數之一，藉由探討刷拭角度特徵，了解雨刷於實車刷拭時，產生的變形量以及幾何的變形狀態，有助於未來探討幾何設計、老化現象等，皆為雨刷設計重要議題。

為了瞭解雨刷動態特性及模擬方法，首先進行相關的文獻回顧。黃和陳[1]探討汽車單臂雨刷動態分析，透過 ADAMS 分析雨刷動態特性，取得雨刷之應力、應變與形變，結果顯示，在刷拭過程中，形變量均勻分布於兩刷膠條兩側，驗證了分析模擬的可行性。賴[2]透過 CAE 方式探討雨刷受力狀況，針對雨刷在不同風速及不同角度下的貼附力大小進行研究，結果顯示，風速越快時，下壓力在不同角度時有明顯變化與

影響。

Chevennement-Roux et al.[3]在平板玻璃上針對兩刷系統進行實驗量測，並與透過有限元素法取得特徵模態，進行比對驗證；並透過靜力計算得到剛性刀架與膠條的水平位移與垂直位移。Chevennement-Roux et al.[4]運用有限元素模型對兩刷膠條進行準靜態研究，探討膠條之幾何變形特徵，根據模擬結果以及施加於兩刷系統的垂直向力與摩擦係數，進而計算出膠條與玻璃間的水平與垂直位移。Lee et al.[5]運用 3D 有限元素法針對兩刷膠條進行非線性結構分析，測量靜負荷下膠條之接觸力分佈與接觸角，觀察接觸力分佈與接觸角對於膠條截面的影響，結果顯示，截面形狀對於接觸力分佈與接觸角有明顯的變化影響。Salleh et al.[6]以牛頓第二定律建立兩刷系統數學模型，探討膠條與擋風玻璃間的接觸力之動態響應，透過比較分析結果進而驗證分析模型。

本文主要目的為探討兩刷膠條的刷拭特性，並發展建立分析與實驗之方法與流程，透過 CAE 正向分析與實驗量測，並根據驗證指標的結果，驗證 CAE 分析模型之可行性與可靠性。

2. 兩刷膠條刷拭角度驗證理念

本節介紹兩刷膠條刷拭角度驗證理念，本文目的主要為透過刷拭角度分析與實驗之比對驗證，來建立驗證兩刷膠條之刷拭角度方法與程序。圖 1 為刷拭角度分析與實驗方法流程圖，透過正向分析與實驗量測進行比對驗證，其中分析模型以 Mooney-Rivlin 材料模型進行，根據前導實驗，透過拉伸實驗取得材料參數分別為 C10 為 $0.77 \times 10^6 Pa$ ，C01 為 $0.38 \times 10^6 Pa$ ，元素分割大小為 $0.08 \times 10^{-3} m$ ，分別進行不同摩擦係數之分析來取得刷拭角度與負載的關係曲線；由分析結果可得知各負載下所對應之刷拭角度，為進行後續的驗證比對，實驗量測採取不同負載量測分別以 6、10、15、20、25、30、35 N/m 進行實驗量測。

圖 2 為實驗儀器架設示意圖，透過 A.圓盤刷拭系統進行實驗量測，實驗規劃將膠條試片裁剪約 10 公分長度安裝於支架上，模擬彈片與膠條之組合。圖 2 中的 B.CCD 膠條幾何變形量測系統主要量測膠條刷拭前量測初始位置，做為參考基準，以及量測刷拭過程之彈片上方至膠條刀口之高度與寬度以及刷拭

過程之刷拭角度，探討其刷拭角度特性。

圖 3 為刷拭角度分析與實驗驗證流程圖，首先將驗證流程分為兩大部分，分別為正向分析與刷拭實驗，分別計算與量測獲得刷拭角度、彈片至膠條刃口之高度與寬度位移差及形變特徵等評估指標，本文將透過上述評估指標進行後續的比對驗證。

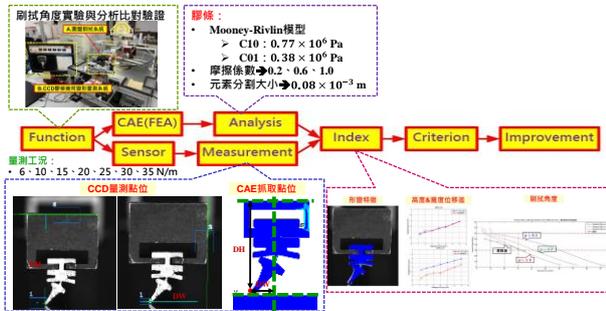
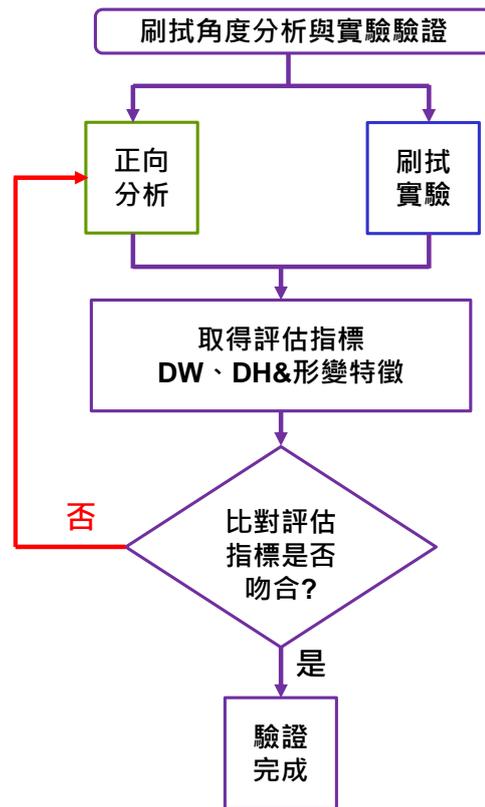


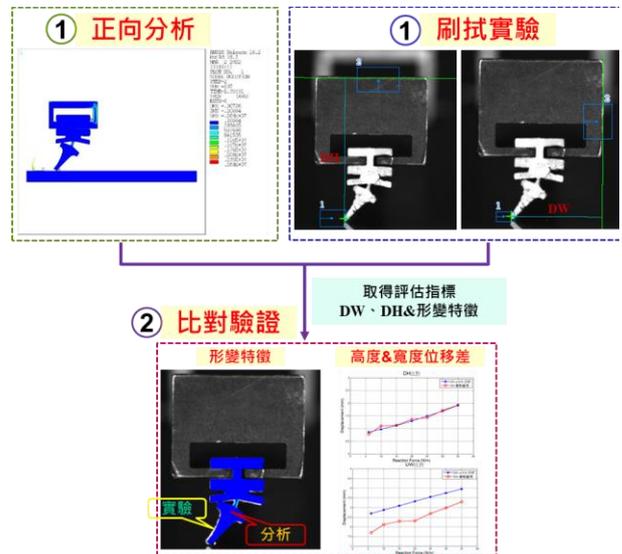
圖 1 刷拭角度分析與實驗方法流程圖



圖 2 實驗儀器架設示意圖



(a) 流程圖



(b) 流程示意圖

圖 3 刷拭角度分析與實驗驗證流程圖

3. 兩刷膠條刷拭角度分析之評估指標

為了探討與分析膠條刷拭角度特性，本節說明兩刷膠條刷拭角度分析之評估指標理念。為了能直觀判別相關特徵，圖 4 為各性能指標定義示意圖，主要量測彈片上方至膠條刀口之位移差，分別為位移高度

(Displacement Height, DH)與位移寬度(Displacement Width, DW)，以及刷拭角度，因實際刷拭角度不易量測，故改以抓取膠條刀口與玻璃之間，由 CCD 系統量測角度為 20° 的方式進行，並且擷取刷拭過程之形變特徵，作為驗證指標。

首先透過正向分析探討不同摩擦係數的刷拭角度。圖 5 為兩刷膠條於不同摩擦係數之分析與實驗刷拭角度曲線比對，實驗量測值分別比對摩擦係數 0.2、0.6 以及 1.0 之刷拭角度分析結果。

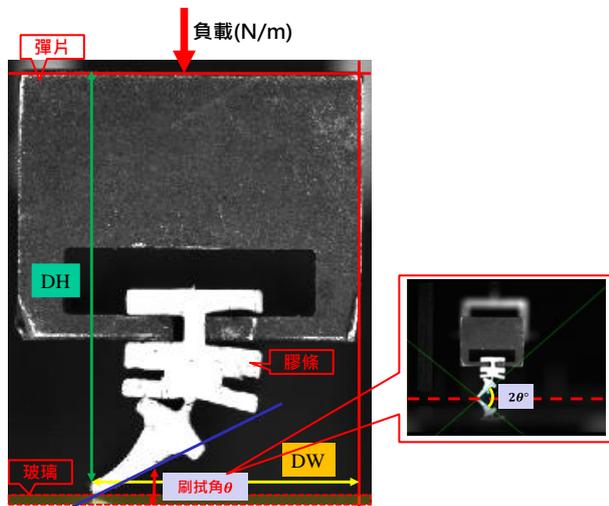


圖 4 各性能指標定義示意圖

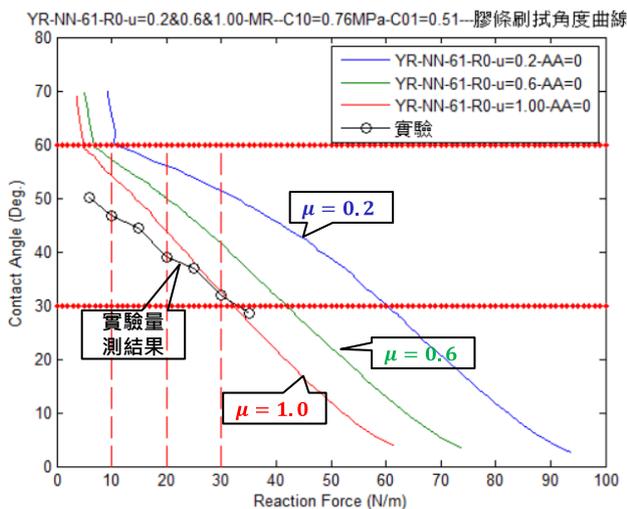


圖 5 兩刷膠條於不同摩擦係數之分析與實驗刷拭角度曲線比對

4 結果與討論

4.1 不同負載下刷拭角度比對探討

本節主要說明不同負載下刷拭角度比對結果，透過 CAE 模擬獲得於不同摩擦係數之負載與刷拭角度的變化曲線，並與實驗量測值進行比對，結果顯示，實驗值與分析值於摩擦係數 1.0 趨勢對應相對較吻合，其中 25、30、35 N/m 量值對應吻合良好，故本節將以分析值摩擦係數 1.0 之評估指標做為參考基準。

表 1 為兩刷膠條於不同負載下之實驗量測數據總表，量測刷拭前之彈片至膠條刀口之高度與寬度做為參考位置，即為表 1 中的初始距離，並計算其平均值，並與刷拭過程之彈片至膠條刀口之高度與寬度的差值，取得相對位移，進行後續比對數據。

表 2 為兩刷膠條於不同負載下之分析與實驗量測數據比較總表，由表 2 可得知在不同負載下，分析與實驗之高度與寬度位移差，高度位移誤差最大約為 0.189 mm，寬度位移誤差最大約為 0.785 mm。

圖 6 為於不同負載時，彈片至膠條刀口之距離位移差之分析與實驗比較結果，由趨勢可觀察，DH 與 DW 兩者實驗與分析趨勢皆對應吻合，其中，圖 6 (a) DH 比對分析與實驗量值對應合理，圖 6 (b) DW 比對於不同負載下，量值差異約為 0.5 mm 左右，此差異較大的現象，可能誤差為人工量測誤差或是實際量測時，彈片尺寸與分析設定有差異所造成的誤差。

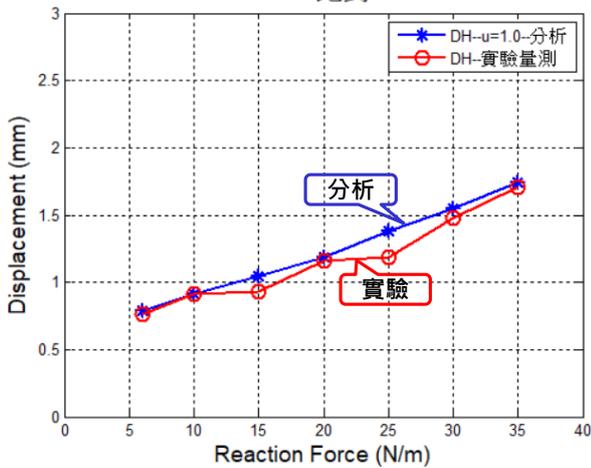
表 1 兩刷膠條於不同負載下之實驗量測數據總表

		下壓力							平均值	
		6 N/m	10 N/m	15 N/m	20 N/m	25 N/m	30 N/m	35 N/m		
實驗量測數據	初始位移	DW(mm)	8.314	8.315	8.567	8.572	8.628	8.770	8.817	8.569
		DH(mm)	19.348	19.247	19.220	19.217	19.128	19.105	19.004	19.181
	刷拭位移	DW(mm)	10.553	10.614	10.820	10.902	11.105	11.265	11.763	
		DH(mm)	18.420	18.271	18.250	18.019	17.993	17.706	17.470	
	相對位移	DW(mm)	1.984	2.045	2.251	2.333	2.536	2.696	3.194	
		DH(mm)	0.761	0.910	0.931	1.162	1.188	1.475	1.711	
刷拭角度	2θ°		100.370	93.518	88.854	78.012	74.033	63.842	57.004	
	θ°		50.185	46.759	44.427	39.006	37.017	31.921	28.502	

表 2 兩刷膠條於不同負載下之分析與實驗量測數據比較總表

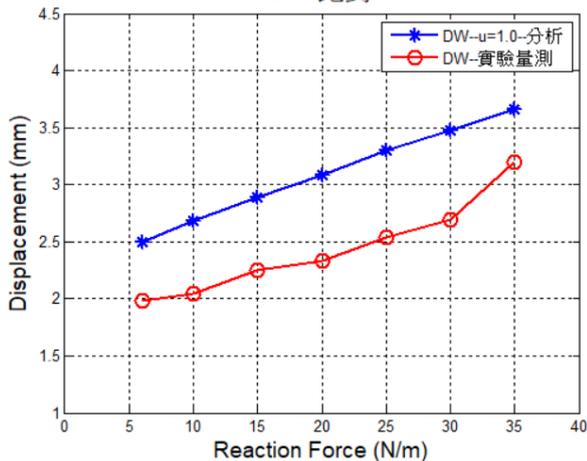
		下壓力(N/m)						
		6	10	15	20	25	30	35
分析數據	高度位移	0.793	0.906	1.047	1.192	1.377	1.553	1.738
	寬度位移	2.501	2.684	2.888	3.078	3.296	3.481	3.657
實驗數據	高度位移	0.761	0.910	0.931	1.162	1.188	1.475	1.711
	寬度位移	1.984	2.045	2.251	2.333	2.536	2.696	3.194

DH比對



(a)彈片至膠條刃口之高度位移差

DW比對



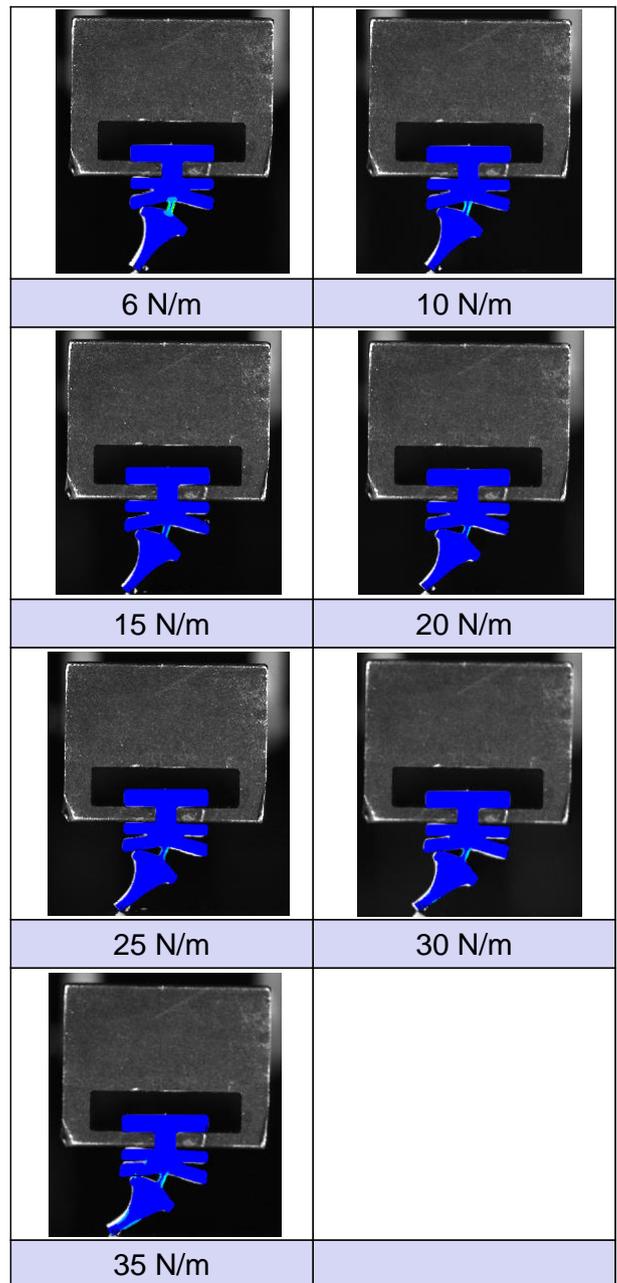
(b)彈片至膠條刃口之寬度位移差

圖 6 於不同負載時，彈片至膠條刃口之位移差

透過形變特徵，可直接觀察兩刷於刷拭過程中，產生的變形量，亦可驗證 4.1 節中 DH 與 DW 比對結果。

表 3 為兩刷膠條於不同負載下之分析與實驗形變特徵比對表，由表 3 中可觀察到膠條在不同負載下，分析與實際刷拭時的幾何形變狀態，在各負載下，幾何形變對應吻合，主要差異皆在刃口部分，可明顯看出偏移位置與圖 6 (b) 的 DW 比對的誤差形成合理對應。

表 3 兩刷膠條於不同負載下之分析與實驗形變特徵比對表



4.2 兩刷膠條之分析與實驗形變特徵比對探討

本節主要說明兩刷膠條之分析與實驗形變特徵比對探討，形變特徵為驗證分析模型之重要參數之一，

5. 結論

本文主要探討兩刷膠條於不同負載下兩刷之刷拭特性，並發展建立分析與實驗之方法與流程，進而比對驗證分析模型與實驗量測是否對應吻合，綜合上述，得到以下結論：

- (1). 根據兩刷膠條於不同摩擦係數之分析與實驗刷拭角度曲線比對可得知，不同摩擦係數之刷拭角度變化曲線，藉由分析與實驗量測比對，結果顯示，實驗值與分析值趨勢量值較接近摩擦係數 1.0，有負載越大，刷拭角度越小之現象
- (2). 在 DH 比對中，分析值與實驗量測值比對趨勢與量值皆對應吻合
- (3). 在 DW 比對中，分析值高於實驗值約 0.5~0.7 mm，推測為分析模型於刷拭過程，夾具設為不動點，而實驗量測時，夾具會隨著負荷力產生偏位，兩者參考點為不同造成的誤差，未來量測可規劃固定基準點位進行量測
- (4). 膠條形變特徵於分析模型與實驗量測比對吻合，主要差異為刃口偏移，根據中的形變特徵的比對，也驗證彈片至膠條刃口之寬度位移差的 DW 比對誤差。透過形變特徵比對，未來可合理預測膠條於實際刷拭過程之幾何特徵

6. 參考文獻

1. 黃榮文、陳建良，汽車單臂兩刷動態分析，車輛工程學刊，第 10 期，第 103-114 頁，2013
2. 賴文光，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：A2-023，2013
3. C. Chevennement-Roux, T. Dreher, P. Alliot, E. Aubry, J. P. Lainé and L. Jézéquel, Flexible Wiper System Dynamic Instabilities: Modelling and Experimental Validation, *Experimental Mechanics*, Vol. 47, pp. 201-210, 2007
4. C. Chevennement-Roux, R. Grenouillat, T. Dreher, P. Alliot, E. Aubry, J. P. Lainé and L. Jézéquel, Wiper Systems With Flexible Structures-Instabilities Analysis and Correlation With a Theoretical Model, SAE International, No:2005-01-2375, 2005
5. C. Lee and H. Kim, Analysis of the Cross-Sectional Shape and Wiping Angle of a Wiper Blade, *SAE International*, Vol. 13, No. 2, pp. 183-194, 2020
6. I. Salleh, M. Z. Zain and A. R. A. Bakar, Modeling and Simulation of Acting Force on a Flexible Automotive, *APPLICATIONS OF MODELLING AND SIMULATION*, Vol. 2, No. 2, pp.51-58, 2018

Wiper Blade Attack Angle Analysis and Experimental Verification

* Bor-Tsuen Wang ¹, Chyuan-Yow Tseng ²,
Chien-Hsiung Tsai ²
, Shih-Yu Hsh ¹, Sheng-Min Guo ¹, Ying-Hui
Wu ³

¹ Department of Mechanical Engineering,

² Department of Vehicle Engineering,
National Pingtung University of Science and
Technology

³ Machinery Division, National Nei-Pu Senior
Agricultural-Industrial Vocational School

*Email: wangbt@mail.npust.edu.tw

Abstract

The wiper is one of important components of vehicles. Its main function is to remove raindrops and dirt on windshield to ensure the driver with clear view. The attack angle of rubber blade on windshield in wiping is one of the key parameters. For studying the wiping characteristics of rubber blade, this work develops the method and process for the analysis and experimental verification. This work adopts Computer Aided Engineering (CAE) software to analyze and uses CCD system to measure the deformation of rubber blade in wiping conditions for different loadings, so as to examine the geometrical deformation parameters, including the deflection, blade deformed shape and the attack angle on the windshield. Both forward analysis via CAE and experimental measurement are, respectively, conducted and compared for verification. The test-rig uses a small piece of rubber blade with fixture like spring strip and applies different loadings from 6 to 35 N/m to the rubber blade. The CCD system can capture those geometrical parameters of rubber blade in deformed state. The simulation via ANSYS software is also performed accordingly to mimic the wiping process of wiper blade. Results show the geometrical deformations obtained by CAE forward analysis and experimental measurement agree well with each other. The deflection of blade's lip also reveals reasonable agreement. This validates the feasibility and reliability of CAE simulation model. The developed simulation methodology can then be applied to explore the attack angle analysis for different types of blades as well as for different frictional states of wiping condition and predict the deformed geometry of rubber blade during wiping process.

Keywords : Wiper Blade, Attack Angle, Forward Analysis, Experimental Measurement.