

膠條變形影像之幾何參數量測模組開發與應用

*王栢村¹、蔡建雄²、曾全佑²、徐詩瑜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

兩刷膠條為影響刷拭性能的重要關鍵，膠條截面變形以及刷拭角度可能影響刷拭品質。為了探討兩刷膠條在刷拭過程，受到不同負載下的變形狀態，本文應用 CCD 影像辨識系統捕捉兩刷膠條截面的變形狀態，並透過 MATLAB 開發影像幾何參數量測的人機介面(Graphics User Interface, GUI)程式模組，GUI 程式模組可以快速獲得三個重要幾何參數，分別為膠條截面的水平、垂直變形量以及刷拭角度。此外，透過靜力分析，可以獲得膠條截面受到不同負載之變形特徵與刷拭角度曲線。結果顯示，程式模組可以有效的量測，獲得幾何參數數據，並可彙整不同負載的內插與迴歸分析，以取得兩刷膠條變形量以及刷拭角度的曲線變化特徵。透過實驗量測數據與分析模型比對，可以驗證模擬分析的可行性。未來可透過建立的影像幾何參數量測程序，應用於其他影像幾何量測，以加速影像後處理作業。

關鍵字: 兩刷膠條、影像、幾何參數量測、變形、刷拭角度

1. 前言

在某些場合中，進行實驗量測時，當實驗設備僅有量測功能，無法輸出數據時，時常需花費部分時間進行實驗數據彙整，進而拖延到整體作業時間，且兩刷膠條屬於橡膠材料，相較於一般常見幾何的尺寸量測，如常見矩形結構等，欲量測膠條之幾何參數，量測方法相對困難。本文目的旨在開發膠條變形影像之幾何參數量測模組，並應用於兩刷膠條於不同負載之變形影像量測，提升實驗準確度以及工作效率。

為了瞭解程式模組開發的可行性與必要性，首先，進行兩刷動態特性等相關文獻回顧。王等人[1]透過 CCD 系統拍攝量測兩刷膠條於不同負載下之幾何變形與刷拭角度特徵，並透過 CAE 方法進行模擬分析，與實驗量測進行比對，結果顯示，CAE 模擬分析獲得之幾何形變與實驗量測兩者比對吻合良好，驗證了實驗方法與分析模型的可行性。Lee *et al.* [2]探討兩刷膠條之截面形狀與刷拭角度特性，透過拉伸試驗獲得膠

條之機械性質，並以有限元法進行非線性結構分析，測量靜負荷下膠條之接觸力分佈以及刷拭角度，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。Grenouillat and Leblanc[3]透過實驗量測以及動態模擬，探討施加負載於兩刷膠條以及刷拭角度對於兩刷振動的影響，結果顯示，不同的刷拭角度對於振動特性有明顯的變化。Zhao *et al.* [4]探討兩刷膠條與擋風玻璃間的刷拭角度與抖動現象的關係，透過動態分析進行模擬，並透過高速攝影機記錄振動特性，並推算其自然頻率以及刷拭角度的變化，結果顯示，當刷拭角度較大時，引發的抖動現象更顯著。

在實務上，不少案例透過影像處理技術，成功進行尺寸量測以及數據擷取，例如王等人[5]為了取得橡膠材料之應變與應力對應之數值，透過影像處理技術，開發應變應力曲線自動化模組，由影像辨識取得數據，並進行曲線嵌合，將曲線特性數據化，獲得特定材料模型之參數。

為了提升工作效率與量測精度，透過影像處理進行尺寸量測之方法，因此 Li[6]開發軸零件尺寸自動量測系統，透過 CCD 相機獲取影像，基於影像邊緣檢測技術進行尺寸計算，獲得零件支柱高以及底部半徑尺寸。朱與洪[7]為了提升 2D 尺寸量測精度，透過影像處理技術以及數學方法對於影像進行去噪以及二值化處理並檢測影像邊緣，獲得零件尺寸，結果表明，影像處理以及游標卡尺量測，兩者數值比對相近合理，達到快速且有效之目的。蕭與蔡[8]透過影像處理技術，進行振動台試驗之動態量測，經由數位攝像機，紀錄試驗過程中，試體之動態行為，由影像讀取程式，取得影像之座標點位，並計算其水平位移量。

此外，針對影像測量誤差分析，丁等人[9]探討 CCD 影像測量儀之工作原理以及工件尺寸測量誤差來源分析，說明了影像量測儀的主要誤差來源，而影像處理技術亦為誤差來源之一，透過了解影像原理，配合適當的計算方法，可有效的避免與減少量測誤差。王等人[10]發展汽車兩刷自動檢測機構，其中透過 CCD 系統以及三點式座標測量儀進行尺寸檢測工具，透過自動檢測方法，可有效的區分良品與不良品。

本文主要針對膠條變形影像之幾何參數量測，建構人機介面，以及影像幾何參數量測程序，減少在實際幾何量測中，可能因實驗設備受限，如量測擷取範

圍、量測地點、數據擷取耗時等問題，本文的貢獻在於提供一個有效的量測方法，能夠解決實際幾何量測中的限制問題。此外，本文也將提供一個可靠的影像幾何參數量測程序，使得量測結果更為準確。透過 GUI 程式模組的應用，也能夠簡化量測程序並提高作業效率，也有助於未來研究兩刷膠條之刷拭特徵之研究的進一步發展。

2. 影像之幾何參數量測模組理念

本章主要說明影像之幾何參數量測模組理念，主要透過 CCD 捕捉膠條變形影像，匯入程式模組進行量測，獲得幾何參數。

圖 1 為膠條變形影像之幾何參數量測模組之 ISOC 系統方塊圖，分別說明輸入(Input)、系統架構(System)、輸出(Output)以及控制變數(Control Variable)之理念、架構及流程，輸入為膠條變形影像檔，系統架構主要透過選取影像之像素座標點位，計算其座標間之水平、垂直距離以及水平夾角；取得水平夾角後，可進行數據分析，透過內插法以及線性迴歸分析，可探討兩刷膠條於不同負載下，其刷拭角度變化趨勢，其系統之控制變數主要與影像之像素品質有關，而數據分析須設定內插取樣點數，依照分析筆數，選擇適當之取樣點數進行分析作業。

圖 2 為兩刷膠條變形影像之幾何參數量示意圖，GUI 程式模組定義幾何參數為水平、垂直距離以及水平夾角，對應兩刷膠條，分別定義水平距離為支架內側與膠條接觸之邊緣，與膠條刀口端點間距離寬度(Distance Width, DW)，垂直距離為支架下邊緣至膠條刀口端點間距離高度(Distance Height, DH)，而水平夾角為刀口與玻璃間夾角，定義為刷拭角度(θ)。

3. 影像幾何參數量測人機介面模組開發

為了有效的量測影像幾何參數以及快速獲取相關數據，使用上更加人性化，本文透過 MATLAB 程式語言發展膠條變形影像之幾何參數量測的人機介面模組。

圖 3 為膠條變形影像之幾何參數量測模組作業流程示意圖，圖 3(a)建立影像幾何參數量測流程，並開發 GUI 人機介面，使程式模組操作更加人性化，圖 3(b)為人機介面流程圖，其操作步驟如下：

- (1) 輸入量測序號：為了依序紀錄量測數據，在匯入影像前，需先記錄量測編號，以便後續數據處理作業。
- (2) 匯入膠條變形影像：選擇匯入欲量測之影像檔，匯入後將顯示於下方作為量測區域範圍。
- (3) 輸入負載(N/m)：為了探討不同負載下與刷拭角度之關係，需輸入捕捉影像時所承受的負載力；於步驟(2)匯入影像過程中，顯示彈跳視窗即為輸入負載值，輸入影像對應負載值，紀錄對應量測值。

- (4) 像素點校正：由於透過影像檔進行量測，為了取得與實際值更貼近之數據，需先進行像素點校正計算，找出已知實際長寬值之量測區域，分別輸入水平以及垂直方向之實際值，並點選影像對應之範圍，得出圖面尺寸與實際尺寸間比例關係，其兩者關係為影像像素座標兩點間距離與實際值的比值，作為後續影像量測比例換算之依據。
- (5) 選擇量測模式：完成步驟(4)像素點校正後，會將校正數據紀錄於右側數據紀錄表，作為量測數據換算之依據；選擇 GUI 介面中量測水平、垂直距離&水平夾角，進入量測模式。
- (6) 選取量測點：進入量測模式後，依序選取水平、垂直距離以及水平夾角之範圍，三者皆為取兩點距離進行計算。
- (7) 結果輸出：量測結果分別為水平、垂直距離以及刷拭角度，可存儲數據，便於後續研究。

透過 GUI 程式模組，成功獲得膠條變形影像之幾何參數，並且完成數據彙整，減少彙整實驗數據之作業程序，提升整體作業效率。

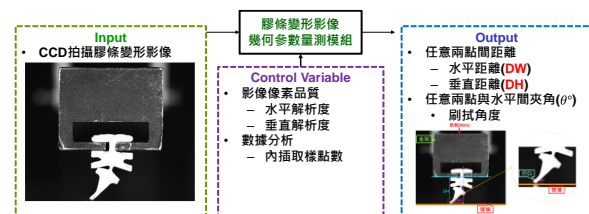


圖 1 膠條變形影像之幾何參數量測模組之 ISOC 系統方塊圖

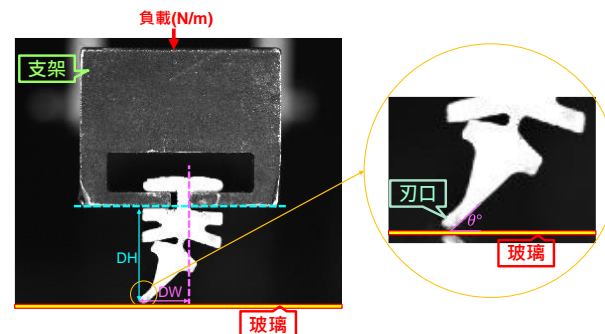
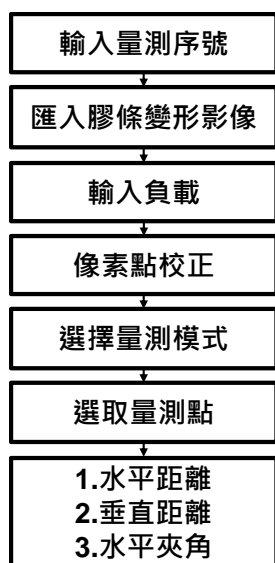


圖 2 兩刷膠條變形影像之幾何參數量示意圖



(a) 膠條變形影像之幾何參數量測模組架構流程圖



(b) 膠條變形影像之幾何參數量測模組之人機介面流程圖

圖 3 膠條變形影像之幾何參數量測模組作業流程示意圖

4. 影像幾何參數量測人機介面模組應用

為了驗證第 3 章發展的 GUI 程式模組之可行性以及準確性，本章將透過實務案例，應用於量測不同兩刷膠條截面受不同負載下之變形影像量測，以及透過靜力分析與實驗量測比對幾何參數以及膠條變形特徵。

4.1 兩刷膠條變形影像之幾何參數量測應用

為了驗證程式模組的可行性，圖 4 為兩刷膠條支架幾何參數量測示意圖，圖 4 (a) 為兩刷膠條支架實際結構，已知實際尺寸，分別為支架長與寬，透過游標尺進行幾何尺寸量測，對應圖 4 (b) 量測膠條變形影像之支架長寬尺寸，並以模組選取量測範圍，兩者相互比對。

表 1 為實際值與膠條變形影像之幾何參數量測模組之結果比對總表，分別量測在相同狀態下，捕捉兩張影像，首先透過程式模組對於影像 A 進行校正，透過校正比例再次量測影像 A 之夾具寬與高，並與實

際值比對，寬度值誤差約於 0.53%，推測為座標點選取差異，而高度值兩者比對吻合；延續影像 A 校正，對影像 B 進行相同範圍量測，由結果可得知，當影像在相同狀態下捕捉，而擇一影像進行校正，誤差小於 0.75%，初步驗證模組尺寸量測的可行性。

表 2 為兩刷膠條於不同負載之分析與實驗變形影像比對總表，分別透過靜力分析以及實驗量測，捕捉 6、10、15、20、25、30、35 N/m，共 7 種負載之膠條變形影像，兩者比對，皆可觀察出，當負載越大時，膠條變形量越大之現象，初步驗證了分析模型的可行性。

圖 5 為兩刷膠條於不同負載之實驗與分析幾何參數比對結果，分別透過實驗量測以及靜力分析獲得 DW、DH 以及刷拭角度，並對於橡膠材料測試了 3 次拉伸試驗，獲取材料參數，3 次拉伸試驗結果，以數值排序，分別以上位數、中位數、下位數表示，並進行靜力分析，與實驗量測進行比對驗證。案例 A 與案例 B 分別為兩種不同幾何截面的兩刷膠條，透過 GUI 程式模組分別量測不同負載下之 DH、DW 以及刷拭角度，並與靜力分析進行比對，由刷拭角度曲線特徵可觀察出當負載越大，刷拭角度越小，與表 2 的結果有合理的一致性；藉由 DH 以及 DW 曲線特徵可觀察出，當負載越大時，膠條變量也越大。

藉由上述的分析與實驗結果比對，獲得三個幾何參數特徵，可觀察出，隨著負載的增加，膠條變形越明顯，實驗與分析的趨勢以及量值也有合理對應，同步驗證了程式模組以及分析模型的可行性與可靠性。

4.2 膠條變形影像之幾何參數量測模組之後處理

為了探討兩刷膠條於不同負載下與刷拭角度間的變化特徵，在 GUI 程式模組中，獲得幾何參數之量測數據後，並透過內插法以及迴歸分析，可快速獲得膠條於不同負載下與刷拭角度間的曲線變化特徵，大幅減少數據彙整時間，將數據可視化，可快速得知曲線變化特徵，可作為後續設計開發之參考。

圖 6 為膠條變形影像之幾何參數量測模組的數據後處理分析結果，以案例 A 數據表示，橫軸為負載，縱軸為水平夾角，圖 6 (a) 為數據內插分析結果，可觀察到於數據範圍內之曲線特徵變化，透過結果，可得知在當前實驗量測工況下，膠條變形的特徵變化；圖 6 (b) 為數據迴歸預測分析結果，可觀察到數據範圍外之曲線特徵變化，推估量測範圍外之負載對於刷拭角度可能的曲線特徵變化，由此案例可觀察出，隨負載增加，則刷拭角度越小，透過曲線特徵，可助於後續探討刷拭角度對於膠條的刷拭特性與影響。

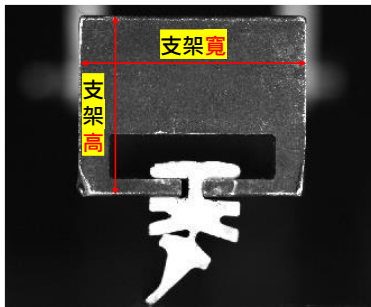
膠條變形影像之幾何參數量測模組，主要應用情境為，透過實驗捕捉膠條受不同負載下的變形影像，藉由模組量測其幾何尺寸，並獲得實驗數據之曲線變化特徵，有助於了解不同負載與膠條變形間的關係。

此外，透過靜力分析獲得膠條受到不同負載之變形特徵與刷拭角度曲線以及變形特徵，並與實驗量測

比對，也有合理的對應，驗證了分析模型的可行性，未來可助於雨刷膠條之刷拭特徵之研究。

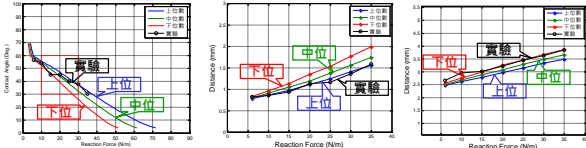


(a) 雨刷膠條支架實際結構

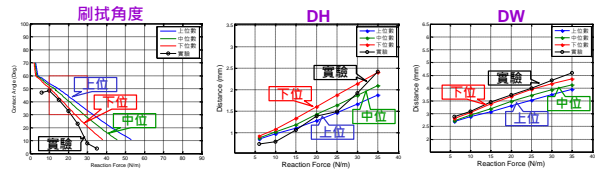


(b) 模組量測幾何參數

圖 4 雨刷膠條支架幾何參數量測示意圖

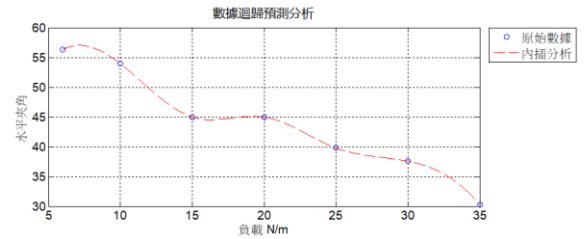


(a) 案例 A

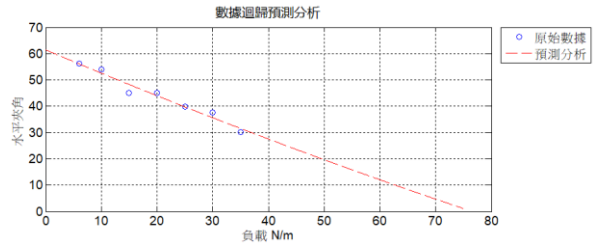


(b) 案例 B

圖 5 雨刷膠條於不同負載之實驗與分析幾何參數比對



(a) 不同負載之水平夾角數據內插分析結果



(b) 不同負載之水平夾角數據迴歸預測分析結果
圖 6 膠條變形影像之幾何參數量測模組之數據後處理分析結果

表 1 實際值與膠條變形影像之幾何參數量測模組之結果比對總表

量測目標	實際值(mm)	模組量測(mm)		誤差百分比(%)	
		影像A	影像B	影像A	影像B
夾具寬	14.97	15.05	14.91	0.53	0.40
夾具高	12.01	12.01	11.92	0.00	0.75

表 2 雨刷膠條於不同負載之分析與實驗變形影像比對總表

下壓力(N/m)	6	10	15	20	25	30	35
實驗							
靜力分析							

5. 結論

本文發展膠條變形影像之幾何參數量測模組，透過影像像素座標的計算，可有效且有效率的取得影像幾何參數，降低了實驗量測以及數據彙整時間。並應用於實際案例，觀察兩刷膠條於不同負載下之曲線特徵變化，並與靜力分析模擬進行比對驗證，以下為膠條變形影像之幾何參數量測模組進行綜合評估與討論：

- (1) 膠條變形影像之幾何參數量測模組主要功能基於幾何參數量測、數據存取以及刷拭角度數據範圍內外之曲線特性變化。
- (2) 本文開發 GUI 程式模組，解決了兩刷膠條之幾何參數不易量測之問題，成功獲得幾何參數，且提高實驗量測效率，加速作業流程。
- (3) 透過 GUI 程式模組，量測幾何參數，與實際尺寸有部分差異，驗證結果，誤差小於 0.75%，足以符合膠條幾何參數量測之需求。
- (4) 透過靜力分析與實驗量測比對不同負載下之 DW、DH 以及刷拭角度，結果顯示，兩者比對良好，驗證了程式模組的可行性。
- (5) 建立影像幾何參數量測流程，未來可應用於其他影像之幾何參數量測。

6. 參考文獻

1. 王栢村、曾全佑、蔡建雄、徐詩瑜、郭聖民、吳盈輝，兩刷膠條刷拭角度分析與實驗驗證，精密機械與製造科技研討會，屏東、台灣，論文編號：G019，2022
2. 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
3. R. Grenouillat and C. Leblanc, Simulation of chatter vibrations for wiper systems, *SAE International*, No. 2002-01-1239, 2022
4. Z. Zhao, H. Yabuno, K. Kamiyama, Dynamic analysis of a wiper blade in consideration of attack angle and clarification of the jumping phenomenon, *Applied Sciences*, Vol. 12, No. 9, 2022
5. 王栢村、蔡俊郎、王簡俊維、蔡曜光、吳盈輝，應用影像處理於應變應力曲線之自動化辨識及兩刷膠條分析，精密機械與製造科技研討會，屏東、台灣，論文編號：G022，2021
6. B., Li, Research on geometric dimension measurement system of shaft parts based on machine vision, *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, No. 1, 2018
7. 朱文博、洪都，基於影像處理的零件二維幾何參數檢測方法，*光學技術*，第 46 卷，第 2 期，第 184-191 頁，2020
8. 蕭達鴻、蔡敏男，使用數位影像進行振動台試驗之動態量測，*技術學刊*，第 22 卷，第 2 期，第 187-198 頁，2007

9. 丁文強、陳歡、楊鵬，CCD 視覺影像測量原理及誤差分析探討，*計量與測試技術*，第 49 卷，第 3 期，第 58-59 頁，2022
10. 王愛平、黃建文、黃錦濤、趙玉平，一種基於 CCD 的汽車雨刮心軸自動檢測機構，*智能製造*，第 3 期，第 49-67 頁，2022

Development and Application of Geometric Parameter Measurement Modules for Wiper Blade Deformation Image

*Bor-Tsuen Wang¹, Chien-Hsiung Tsai²,
Chyuan-Yow Tseng², Shih-Yu Hsu¹, Ying-Hui Wu³

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

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

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

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

Abstract

The wiper blade made of rubber is an important key that affects the wiping performance. The deformation of the rubber blade cross section and the wiping angle may affect the wiping quality. In order to investigate the blade deformation under different loads during the wiping process, this paper uses a CCD image recognition system to capture the deformation state of the cross section of the wiper blade, and develops a Graphics User Interface (GUI) for image geometric parameter measurement through MATLAB. The GUI program module can quickly obtain the three important geometric parameters, i.e. the horizontal and vertical deformation of the rubber blade and the wiping angle. In addition, through static analysis, the deformation characteristics and wiping angle curves of the rubber blade cross section subjected to different loads can be obtained. Results show that the program module can effectively measure and obtain geometric parameter data, and can collect and perform interpolation regression analysis of different loads to obtain the curve change characteristics of the wiper blade deformation as well as the wiping angle. The feasibility of the simulation analysis can be verified by comparing the experimental measurement data with the analysis model. In the future, the established image geometric

parameter measurement program can be applied to other image geometric measurements to speed up image post-processing operations.

Keywords : Wiper Blade, Imaging, Geometric Parameter Measurement, Deformation, Wiping Angle