

複合型兩刷結構之模型驗證及接觸力分析

王栢村¹ 胡詠翔¹ 周冠程¹ 黃鈺展¹ 黃智群² 張明仁²

¹ 國立屏東科技大學機械工程系

² 山多力國際股份有限公司

E-mail: wangbt@mail.npust.edu.tw

科技部計畫編號: MOST 103-2622-E-020-006-CC3

摘要

雨刷是交通工具上不可或缺的零件之一，市面上的雨刷可分為傳統型、複合型及無骨型(軟骨型)，主要用於清除擋風玻璃上的雜質及雨水。本文主要針對複合型雨刷，分別運用有限元素分析(FEA)與實驗模態分析(EMA)，進行複合型雨刷的模型驗證。首先說明模型驗證理念及流程，旨在驗證等效於雨刷實體結構的有限元素模型，將理論模態分析(TMA)與實驗模態分析(EMA)所求得的結構模態參數，進行比對，包含自然頻率及模態振型，驗證結果顯示，雨刷結構模態有合理的對應，確認雨刷的理論有限元素模型之可靠性。再以此分析模型進行響應預測，取得雨刷膠條底部之反作用力曲線圖，即可得到接觸力曲線，可依照接觸力分佈曲線特性，作為後續雨刷結構設計變更之參考。未來可應用此驗證的分析模型進行雨刷的結構設計變更，如雨刷造型設計、結構應力與變形分析、以及降低雨刷作動時產生的振動行為。

關鍵詞: 複合型雨刷、有限元素分析、實驗模態分析、模型驗證、響應預測。

1. 前言

雨刷是現今交通工具上，必備之零件，用途是在清除擋風玻璃上的雨水及異物，改善駕駛人的能見度，避免視線不良之設備，由於膠條在長期使用下，會造成磨損，進而產生噪音及振動問題。

為了有效縮短開發時間，減少成本，將導入有限元素法，先以 3D 繪圖軟體繪製之 CAD 圖檔匯入有限元素分析軟體中，進行結構之靜力分析，分析後可得知模型易受破壞的應力集中處，可由此作為輔助判斷，直接進行圖檔的改良，無須製作出實體產品進行測試，以縮短開發時間並節省材料與成本。王等人[1]利用有限元素分析結果得知公螺旋轉子模態特性，針對轉子模態特性以 A、V 及 H 方向同時量測之實驗手法，獲得與理論分析之模態參數完整對應，進而獲得等效於實際結構之公螺旋轉子有限元素模型，確認有限元素模型之可靠性。王等人[2] 主要發展儲液瓶之各單一零組件之理論有限元素模型，並探討其結構振動模態特性，分析結果發現不同幾何及不同加工方式對楊氏係數與密度有一定的影響，因結構之密度大；楊氏係數就大，故結構之強度安全係數則較高。王等人[3]結合有限元素分析及模態分析，進行傳統兩刷結構之模型驗證，從實驗與合成的平率響應函數(FRF)曲線中，主要峰值有相吻合的趨勢，代表實驗是可靠的。王等人[4]運用自由邊界及固定邊界下雨刷模態分析，皆出現 y 方向旋轉剛體模態與側向振

動模態，此振動特性與實際兩刷作動情形相符合。王等人[5]在整體壓縮機組合結構中之模型驗證，模態誤差在 4% 的範圍內，整體壓縮機本體結構的模型驗證成功。王等人[6]對含有激振器之振動平台模型進行模型驗證，先針對激振器進行模型驗證，成功後再將含有激振器之振動平台進行模型驗證，使模型達到等效，有助於後續結構設計與響應預測。Kim et al. [7] 使用 MATLAB 程式工具針對兩刷系統進行模擬分析，雖然是簡易參數設定，其分析結果還是有達到模擬兩刷作動的現象，由主、副兩刷掃略痕跡觀察，兩者兩刷振動量相對穩定，但後續能需利用有實驗模態分析來作佐證。

本文主要透過複合型兩刷結構模型進行驗證，以理論及實驗所得到的模態參數做比對，若比對吻合，即證明兩刷模型等效於實際結構，未來可使用此兩刷模型進行結構設計的變更，能有效降低開發時，所耗費的時間及成本。

2. 複合型兩刷結構之模型驗證理念說明

圖 1、2 為複合式兩刷結構與各部位零件示意圖，主要零件有接頭、大骨架一支及中骨架兩支、小翅四支、鋼板兩條及膠條，各零件間由銷所連結，而膠條分別被兩刷上四個小骨架的夾爪所夾持，兩刷全長 610.25mm，中骨架 173mm，小翅 75mm，複合式兩刷零件總表如表 1 所示。

本節說明模型驗證之理念與完整流程，圖 3 為模型驗證理念流程圖，主要分為理論有限元素分析與實驗模態分析，藉由二者得到之模態參數進行比對驗證，確認有限元素模型能夠與實際結構達到等效性。一般進行時會先以實體結構之幾何參數，建構有限元素模型進行模態分析，並獲得理論模態參數，包含自然頻率及模態振型；實驗部分則實際結構進行實驗模態分析，得到實際結構之頻率響應函數，經由曲線嵌合軟體擷取實際結構之模態參數，包含自然頻率、模態振型及阻尼比，將上述所求得的以上理論及實驗之自然頻率與模態振型進行比對驗證，再以實驗模態參數為基準，對有限元素模型之材料參數修正，使得二者之模態參數相符合，達到兩刷理論有限元素分析等效於實際結構，完成複合型兩刷之模型驗證。

圖 4 為模型變更流程圖，由模型驗證後所得到等效於實際結構之有限元素模型，足以代表並反應實際結構系統特性，可以此模型進行響應預測及模型變更，響應預測主要目的是可以減少實際結構之實驗量測分析，當預測結果有破壞可能性時，可透過模型變更，修改結構後再重新進行響應預測，直到符合所需之設計需求，設計完成後，必須再進行模型驗證流程，以確認模型變更

後之可靠性。

3. 複合型兩刷之模型驗證

3.1 建構有限元素模型

本章節進行複合型兩刷有限元素分析時，首先將複合型兩刷 3D 圖檔，匯入 ANSYS 有限元素分析軟體中，並建立有限元素模型，圖 5 為複合型兩刷結構之有限元素模型圖，表 1 為兩刷內各零件總表，全部材料皆假設為等向性材料，結構內各零件相互接觸形式，皆假設為一體成形設定。其模型使用線性立方體元素(Solid 186)，每個元素有 8 個節點，每個節點自由度為 u 、 v 、 w 三個方向位移，在接觸元素選擇方面，依照零件由上而下，由外而內的順序進行設定，在上及外者為主動接觸元素(Contact 174)，在下及內者為(Target 170)，元素分割以 free mesh 方式，一共有為 215315 個節點和 112154 個元素，本次分析是模擬自由邊界下兩刷之理論模態分析，所以無須進行邊界限制及負荷條件之設定。

5	膠條	1	橡膠
6	鋼板	2	不鏽鋼
7	銷	6	不鏽鋼
8	接頭	1	塑膠
9	側蓋	2	塑膠

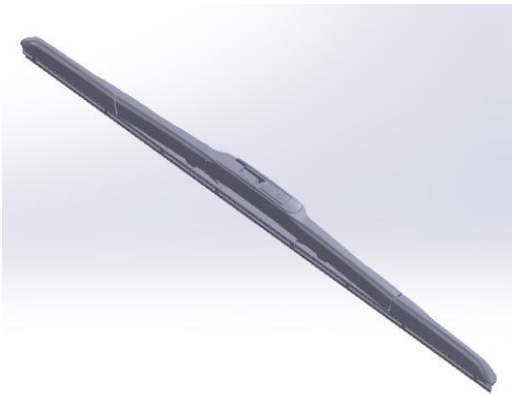


圖1 複合式兩刷結構

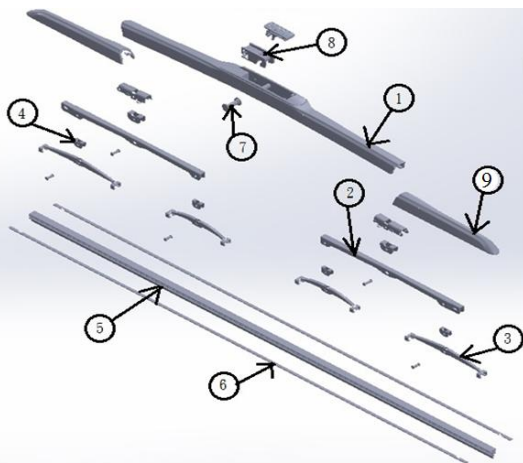


圖2 複合式兩刷各部位零件示意圖

表 1 複合型兩刷零件總表

編號	名稱	數量	材料名
1	中蓋	1	塑膠
2	中骨架	2	鐵
3	小翅	4	鐵
4	襯套	6	鐵

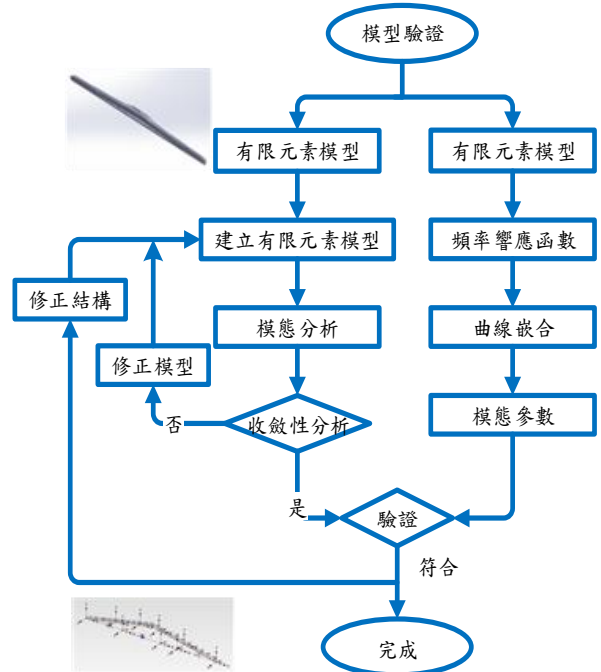


圖 3 模型驗證流程圖

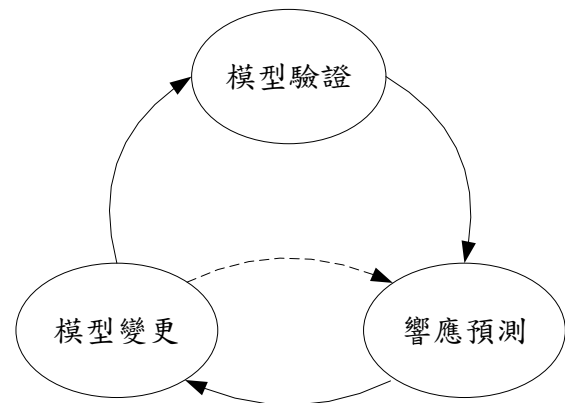


圖 4 模型變更流程圖

3.2 實驗模態分析

圖 6、7 為兩刷結構簡易模型圖與實驗儀器架設圖，實驗中所進行之敲擊點規劃，是透過有限元素分析之模態振型，將理論所得之模態振型後，避開結構節點，來進行敲擊點規劃，分為二個方向，Y 方向 20 點及 Z 方向 8 點，共 28 點，而兩刷零件之膠條屬於軟性材質，敲擊後不易激發結構模態，故不在膠條上規劃敲擊點。實驗中，使用之驅動器為衝擊錘(PCB 084A17)、感測器為磁吸式單軸向加速規(PCB 352C65)，以自行開發的客製化振動噪音量測系統(SVM)作為訊號量測儀器，量測方式採固定加速規，移動衝擊錘方式進行實驗

量測，量測頻寬為 2000Hz，頻率解析度為 1.25Hz，依據理論模態分析結果中，在低頻率時，能明顯看出兩刷之振動特性，來進行以上相關的參數設定。

3.3 結果與討論

圖 8 為不同方向的兩刷結構各點量測之 FRF 重疊圖，從圖中得知自然頻率在 400Hz 內可以看到明顯峰值，每個峰值代表所對應的自然頻率。

表 2、3 為複合型兩刷自然頻率總表與模態振型表，由實驗模態分析(EMA)與有限元素分析(FEA)之自然頻率比對結果，在自然頻率 111Hz 左右，兩刷之理論模態出現 11 個，而實驗模態分析只出現 12 個，推斷是實際結構敲擊部分之材料影響，造成響應不好而導致模態未被激發出來。圖 9(a)及圖 10(a)為 z 方向同點與不同點激振之頻率響應函數圖，輸入端為衝擊錘(i=9)，輸出端為加速規(j=9)及(j=28)，圖中有 2 條曲線，分別為實驗與合成之頻率響應函數曲線，前三個峰值有明顯對應，從實驗與合成曲線中，主要峰值有相吻合的趨勢，代表實驗的可靠性。圖 9(b)及圖 10(b)為 Z 方向同點與不同點激振之關聯性函數圖，除了反共振點不為 1 外，而其餘皆趨近於 1，當關聯性函數圖接近 1 時，代表實驗品質是良好。

藉由表 2 自然頻率總表得知，自然頻率誤差百分比最小值出現在 E-10 和 F-10 之模態振型，而誤差為 -1.28%，最大誤差為 26.83%，為 E-07 和 F-07 之模態，雖然有此特定模態的頻率誤差較大，但其振型有達到良好對應，由表 3，可看出 E-02 和 F-01 為旋轉剛體模態，E-03 和 F-03 為側向振動模態，其中前兩個振動模態與實際兩刷作動情形相似，呈現左右擺動與抖動，代表此模態振型為與兩刷主要模態之一。



圖 5 有限元素模型圖

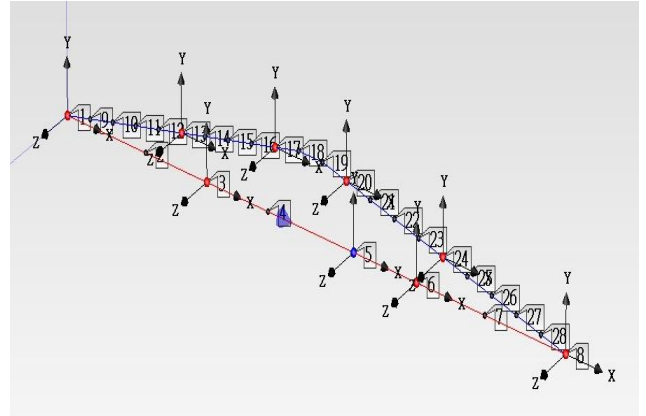


圖 6 兩刷結構簡易模型圖

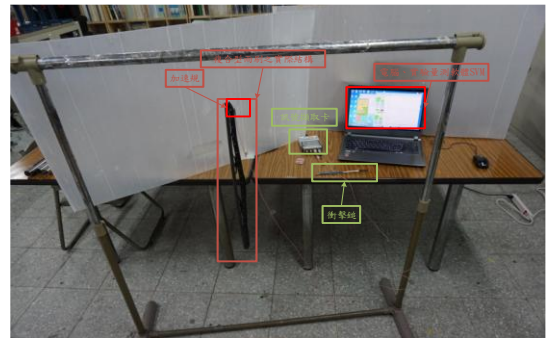
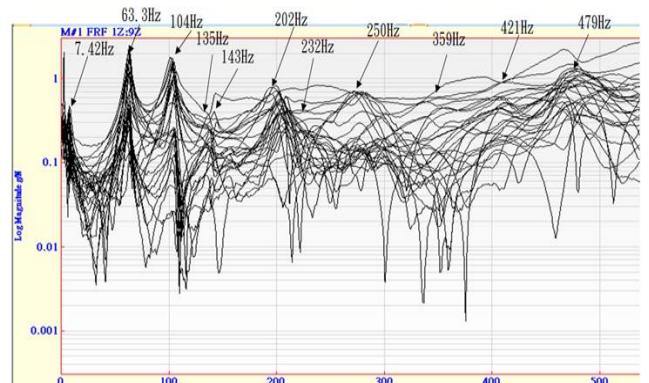
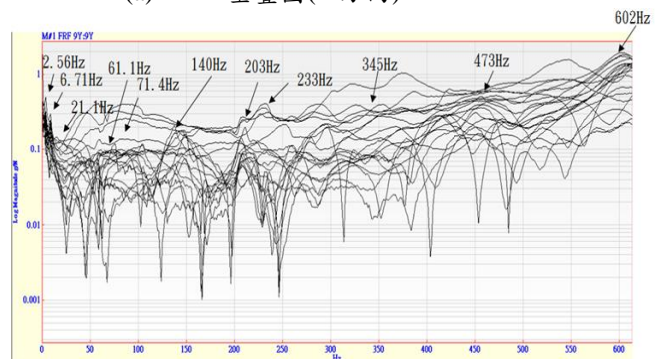


圖 7 實驗儀器架設圖

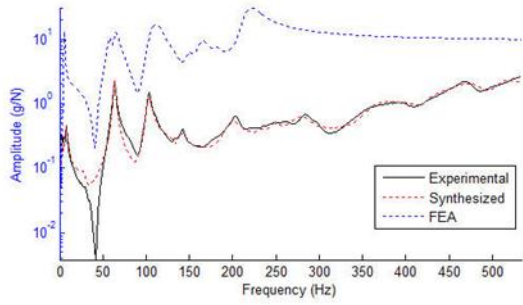


(a) FRF 重疊圖(Z方向)

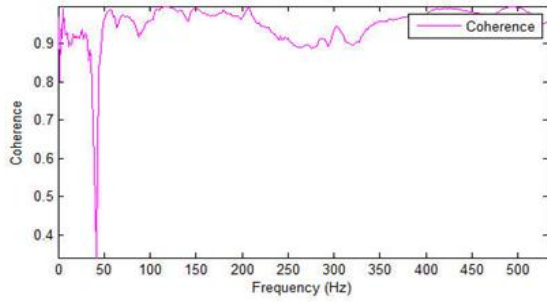


(b) FRF 重疊圖(Y方向)

圖 8 FRF 重疊圖

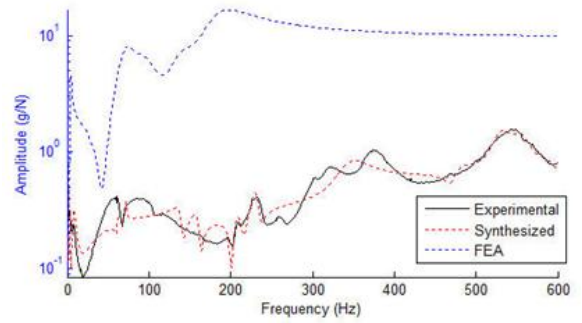


(a) 頻率響應函數圖

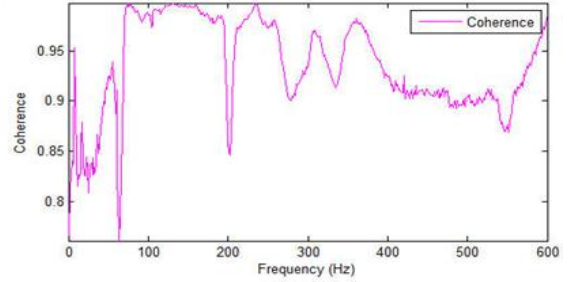


(b) 關聯性函數圖

圖 9 同點(i=9, j=9)(z 方向)

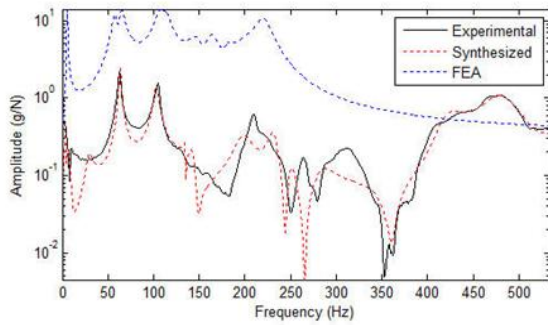


(a) 頻率響應函數圖

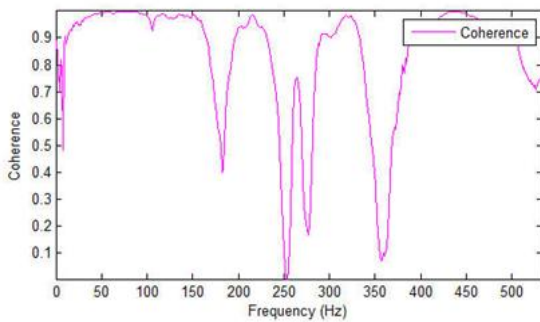


(b) 關聯性函數圖

圖 11 同點(i=9, j=9)(Y 方向)

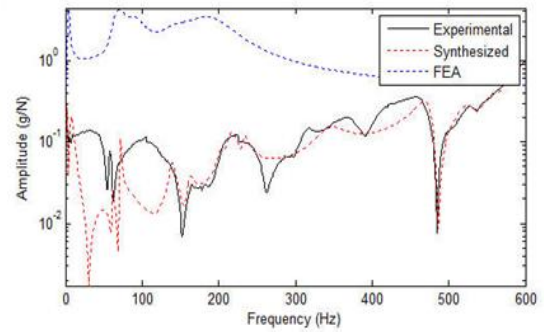


(a) 頻率響應函數圖

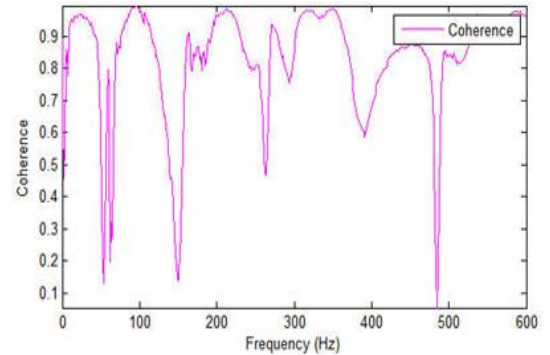


(b) 關聯性函數圖

圖 10 不同點(i=9, j=28)(z 方向)



(a) 頻率響應函數圖



(b) 關聯性函數圖

圖 12 不同點(i=9, j=28)(Y 方向)

表 2 自然頻率總表

Mode	EMA(Hz)	Mode	FEA(Hz)	誤差(%)	Damping	物理意義
E-01	2.56	--	--	--	21.9	雨刷骨架 Y 方向旋轉模態
E-02	6.71	F-01	5.07	-24.44	-9.28	雨刷骨架 Y 方向旋轉模態
E-03	7.42	F-02	6.52	-12.13	10.6	雨刷整體 Z 方向旋轉模態
E-04	21.1	--	--	--	93.6	雨刷骨架 Y 方向彎曲(3,1)模態
E-05	61.1	--	--	--	1.95	雨刷骨架 Y 方向彎曲(3,1)模態
E-06	63.3	F-03	57.62	-9.00	2.27	雨刷骨架 Z 方向彎曲(3,1)模態 雨刷膠條 Z 方向彎曲(3,1)模態
--	--	F-04	63.24	--	--	雨刷骨架 Y 方向彎曲(3,1)模態
--	--	F-05	65.46	--	--	雨刷骨架 Z 方向彎曲(3,1)模態 雨刷膠條 Z 方向彎曲(3,1)模態
--	--	F-06	72.88	--	--	雨刷骨架 Y 方向彎曲(2,1)模態
E-07	71.4	F-07	90.56	26.83	0.86	雨刷骨架 Y 方向彎曲(3,1)模態
E-08	104	F-08	107.67	3.53	2.34	雨刷骨架 Z 方向彎曲(4,1)模態 雨刷膠條 Z 方向彎曲(4,1)模態
--	--	F-09	111.93	--	--	雨刷骨架 Z 方向彎曲(2,1)模態 雨刷膠條 Z 方向彎曲(4,1)模態
E-09	135	--	--	--	0.5	雨刷骨架 Z 方向彎曲(4,1)模態 雨刷膠條 Z 方向彎曲(4,1)模態
E-10	140	F-10	138.2	-1.28	3.18	雨刷骨架 Y 方向彎曲(4,1)模態
E-11	143	--	--	--	2.7	雨刷骨架 Z 方向彎曲(4,1)模態 雨刷膠條 Z 方向彎曲(4,1)模態
E-12(Z)	202	F-11	149.12	-26.18	2.81	雨刷骨架 Z 方向彎曲(5,1)模態 雨刷膠條 Z 方向彎曲(5,1)模態

表 3 模態振型表

mode	EMA	mode	FEA	物理意義
E-02		F-01		雨刷骨架 Y 方向旋轉模態
E-03		F-02		雨刷整體 Z 方向旋轉模態
E-06		F-03		雨刷骨架 Z 方向彎曲(3,1)模態 雨刷膠條 Z 方向彎曲(3,1)模態
E-07		F-07		雨刷骨架 Y 方向彎曲(3,1)模態
E-08		F-08		雨刷骨架 Z 方向彎曲(4,1)模態 雨刷膠條 Z 方向彎曲(4,1)模態
E-10		F-10		雨刷骨架 Y 方向彎曲(4,1)模態
E-12(Z)		F-11		雨刷骨架 Z 方向彎曲(5,1)模態 雨刷膠條 Z 方向彎曲(5,1)模態

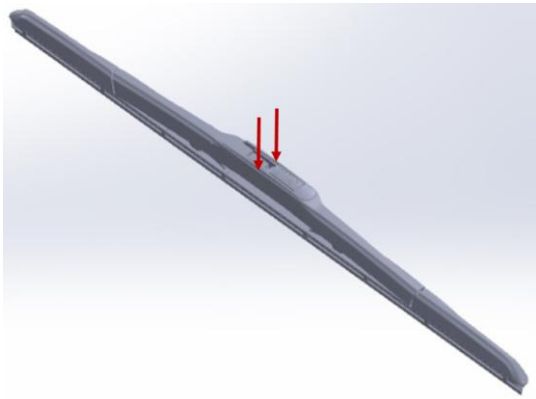


圖 13 複合型雨刷負荷位置示意圖

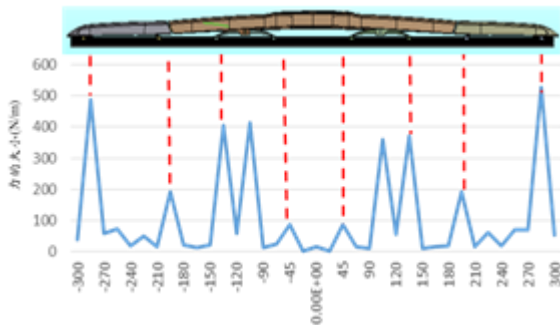


圖 14 膠條底部反作用力曲線圖

4. 複合型雨刷之靜力分析與響應預測

本節探討複合型雨刷結構利用靜力分析，來進行響應預測，以驗證後之有限元素模型，擬定分析假設，材料性質設定等向性(Isotropic)材料。

在元素選擇方面，雨刷內部各零件使用線性立方體元素(solid186)，各元件之接觸設定，假設各零件相互接觸情形為一體成型，使用主動接觸元素(Contact170)及被動接觸元素(Target170)，如圖2所示，由上而下，在上為主動接觸元素，下部元件為被動接觸元素，元素分割採free mesh方式進行元素分割，共有215315個節點、112154個元素。位移限制條件設定在膠條底部，垂直玻璃面之y方向設定為0，負荷設定在塑膠蓋上設定兩個方向向下之負荷，如圖13所示，以模擬搖臂施加於雨刷上之力，其大小總合為10N，相當於每單力作用在雨刷上130208.33(N/m²)，得到膠條底部反作用力曲線圖。

圖14為複合型雨刷膠條底部反作用力曲線圖，圖中顯示膠條底部反作用力位置與反作用力曲線有左右對稱趨勢，可看出有骨架支撐部分，反作用力曲線會有較明顯的峰值，而造成膠條底部反作用力現象，推測為膠條底部與擋風玻璃之間的摩擦係數影響。

5. 結論

本文利用有限元素分析與實驗模態分析進行複合型雨刷結構的模型驗證，得到等效於實際結構之有限元素模型，透過理論分析及模態分析所求得之模態參數，包含自然頻率與模態振型，驗證結果，雖然部分特定的自然頻率誤差值稍大，但在模態振型仍有明顯對應，顯示結果仍具相當的可信度，由分析結果得知，複合雨刷結構具有旋轉剛體模態特性，其旋轉剛模態之振型與雨

刷實際作動情形相似，推斷此模態振型為雨刷的主要模態。

本文在建立雨刷有限元素模型時，內部各零件相互接觸都假設為一體成型，往後可更改接觸設定並修正模型，供後續雨刷設計應用參考。

以此模型進行響應預測，取得雨刷膠條底部之反作用力曲線圖，即可得到接觸力曲線，可依照接觸力分佈曲線特性，作為後續雨刷結構設計變更之參考。未來可應用此驗證的分析模型進行雨刷的結構設計變更，如雨刷造型設計、結構應力與變形分析、以及降低雨刷作動時產生的振動行為。

6. 誌謝

本文感謝山多力國際股份有限公司與科技部103年度產學合作計畫「雨刷振動品質分級之客觀評價系統開發與應用」，由公司提供複合型雨刷實際結構與圖檔，使得本次研究能順利完成。(科技部計畫編號: MOST 103-2622-E-020-006-CC3)

7. 參考文獻

- [1] 王栢村, 王文志, 黃啟順, 劉家良, 「公螺轉子之模態特性與模型驗證」, 中華民國力學學會第三十六屆全國力學會議, 桃園, 論文編號: F-007 (2012)。
- [2] 王栢村, 吳秉修, 林建敦, 周建中, 陳金龍, 「儲液瓶單一零組件之模型驗證與材料參數探討」, 北京科技大學第八屆學術交流研討會, 屏東, 論文編號: B25 (2013)。
- [3] 王栢村, 黃凱昱, 黃智群, 張明仁, 「傳統型雨刷結構之模型驗證」, 精密機械與製造科技研討會, 屏東, 論文編號: J019 (2015)。
- [4] 王栢村, 黃凱昱, 王文志, 王裕豐, 許富翔, 劉慶豐, 「雨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 (2014)。
- [5] 王栢村, 吳秉修, 林建敦, 林聖傑, 陳金龍, 謝長鴻, 「迴轉式壓縮機本體組合結構之模型驗證」, 中國機械工程學會第三十一屆全國學術研討會, 台中, 論文編號: 03190 (2014)。
- [6] 王栢村, 李坤鴻, 李昆達, 「含激振器動態效應之振動平台更新模型驗證」, 中華民國航太學會學術研討會, 桃園, 論文編號: J1-1 (2010)。
- [7] W. H. Kim., T. W. Park., S. P. Jung., J. H. Lee, and W. S. Chung., "Dynamic Analysis Program Development for a Wiper Linkage," *Proceedings of the World Congress on Engineering, Vol. 2*, 1478–1480, (2010).

Model Verification of Complex Type of Wiper Structure and Contact Force Analysis

**Bor-Tsuen Wang¹, Yung-Hsing Hu¹,
Kuan-Cheng Chou¹, Yu-Chan Huang¹,
Chih-Chun Huang², Ming-Jen Chang²**

¹Department of Mechanical Engineering
National Pingtung University of Science and Technology
Pingtung, 91201, Taiwan

²Sandolly International Co. Ltd.

MOST Project No.: MOST 103-2622-E-020-006 -CC3

Abstract

The wiper is one of the important parts of ground vehicles. Wiper types can be classified as conventional, complex and boneless. This work aims to establish the finite element (FE) model of the complex type of wiper and discuss the structural vibration characteristics. The main idea of model verification is introduced to validate the analytical FE model equivalent to the practical wiper structure. The wiper's structural modal parameters can be obtained from theoretical modal analysis (TMA) and experimental modal analysis (EMA), respectively. Both analytically predicted and experimentally extracted mode shapes can be well interpreted and agree reasonably to each others. The wiper FE model can then be verified equivalent to the practical wiper. The analytical wiper model is further applied to predict contact force distribution while the wiper applied onto the windshield. The wiper frictional force can then be obtained for wiper design consideration. The obtained FE model can applied to structural design modification for stress and deformation analysis, as well as the study to reduce the wiper's vibration.

Keywords: complex type of wiper, finite element analysis (FEA), experimental modal analysis (EMA), model verification, response prediction

複合型雨刷結構之模型驗證及接觸力分析

王栢村¹ 胡詠翔¹ 周冠程¹ 黃鈺展¹ 黃智群² 張明仁²

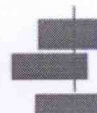
¹ 國立屏東科技大學機械工程系

² 山多力國際股份有限公司

科技部計畫編號: MOST 103-2622-E-020-006-CC3

雨刷是交通工具上不可或缺的零件之一，市面上的雨刷可分為傳統型、複合型及無骨型(軟骨型)，主要用於清除擋風玻璃上的雜質及雨水。本文主要針對複合型雨刷，分別運用有限元素分析(FEA)與實驗模態分析(EMA)，進行複合型雨刷的模型驗證。首先說明模型驗證理念及流程，旨在驗證等效於雨刷實體結構的有限元素模型，將理論模態分析(TMA)與實驗模態分析(EMA)所求得的結構模態參數，進行比對，包含自然頻率及模態振型，驗證結果顯示，雨刷結構模態有合理的對應，確認雨刷的理論有限元素模型之可靠性。再以此分析模型進行響應預測，取得雨刷膠條底部之反作用力曲線圖，即可得到接觸力曲線，可依照接觸力分佈曲線特性，作為後續雨刷結構設計變更之參考。未來可應用此驗證的分析模型進行雨刷的結構設計變更，如雨刷造型設計、結構應力與變形分析、以及降低雨刷作動時產生的振動行為。

關鍵詞：複合型雨刷、有限元素分析、實驗模態分析、模型驗證、響應預測。



中華民國力學學會年會暨 第 39 屆全國力學會議授權同意書

為推廣科技部優良成果，積極協助產業技術升級，提升我國科技水準，厚植國家經濟發展基礎，並促進產學合作的機會，茲同意無償授權科技部工程科技推展中心將本人於

中華民國 104 年 11 月 20-21 日，由國立臺灣科技大學主辦

會議名稱：2015 中華民國力學學會年會暨第 39 屆全國力學會議

口頭發表論文

海報展覽

專題演講

之錄影檔、聲音檔、照片、投影片、論文

摘要及全文內容，予以數位典藏並上網公開播放。本資料僅供科技部工程司產學媒合之目的使用。

立同意書人：

王拓村

身分證字號：

A12006618J

聯絡電話：

0936-147-135

中華民國

104 年 10 月 21 日