

雨刷刷拭平台之擋風玻璃模型驗證

王栢村¹、王簡俊維¹、蔡俊郎²、蔡曜光¹、吳盈輝³

¹ 國立屏東科技大學機械工程系

² 台灣致聯科技有限公司

³ 國立內埔高級農工職業學校

wangbt@mail.npust.edu.tw

摘要

在進行雨刷刷拭振動噪音相關的實驗與分析時，需要使用雨刷刷拭平台模擬實際刷拭工況，有必要明確瞭解刷拭平台系統的振動特性，特別是擋風玻璃之模態特性，以能釐清刷拭平台對雨刷測試時的可能影響。本文針對雨刷刷拭平台之擋風玻璃進行模型驗證，以建立等效於平台擋風玻璃之有限元素分析模型。首先介紹模型驗證理念，對擋風玻璃分別執行有限元素分析(finite element analysis, FEA)與實驗模態分析(experimental modal analysis, EMA)，由 FEA 與 EMA 皆可得到結構之模態參數，包括自然頻率、模態振型及模態阻尼比(模態阻尼比僅可由實驗求得)，由理論模態參數與實驗模態參數的比對，透過修正分析模型，使兩者有良好對應，最終可獲得等效於實際結構之擋風玻璃有限元素模型，也可輔助觀察平台系統振動模態的對應模態振型。未來刷拭平台系統可加入雨刷結構，探討擋風玻璃振動模態，對於雨刷膠條刷拭振動試驗的可能影響。

關鍵詞：雨刷、刷拭平台、擋風玻璃、模型驗證。

1. 前言

進行雨刷振動噪音的相關測試時，需要使用雨刷刷拭平台模擬實際刷拭工況，因此需釐清刷拭平台對雨刷測試時的可能影響，了解該雨刷刷拭平台的振動特性，特別是關於擋風玻璃模態特性，以及在雨刷在刷拭時產生之振動模態兩者的關聯性，因此需要針對擋風玻璃進行模型驗證。

透過模型驗證理念的整理，分別進行有限元素分析與實驗模態分析，經由理論模態參數與實驗模態參數的比對，修正模擬分析模型，最終可獲得等效於實際結構之擋風玻璃有限元素模型。

為理解模型驗證的理念，參考有限元素分析與實驗模態分析玻璃材料之相關論文，劉等人[1]探討多層玻璃的有限元素分析，進行平板之中空玻璃與單片玻璃的模態分析與簡諧分析，得到了其前 10 個的模態之自然頻率與對應之應變。夏等人[2]探討平板玻璃理論鋼化之溫度場與模態分析，比對熱黏彈性應力鬆弛理論、應變應力與模態特性建立玻璃的有限元素模型。張等人[3]建立汽車擋風玻璃的有限元素模型，透過工程圖，建立有限元素模型並進行模態分析，得到理論的汽車擋風玻璃模型之模態振型與對應之自然頻率。

鄒等人[4]探討多層玻璃的應力模擬分析，透過玻璃材料間不同接觸方式，可知玻璃的自然頻率與最大主應力會受到影響。高等人[5]探討夾層玻璃在靜力負荷的變形性能，可知在長時間的荷載中，相對較薄 PVB 的厚度不會影響玻璃的承受荷重，在進行材料參數修正時可以優先進行玻璃之材料參數修正。

因為會使用雨刷刷拭平台模擬實際刷拭工況進行雨刷刷拭的實驗與分析，所以有必要明確瞭解刷拭平台系統中擋風玻璃之模態特性，釐清刷拭平台對雨刷測試時的可能影響。本文針對雨刷刷拭平台之擋風玻璃進行模型驗證，對擋風玻璃分別執行有限元素分析與實驗模態分析，得到結構之模態參數，藉由比對理論模態參數與實驗模態參數中模態振型與對應之自然頻率，建立等效於雨刷刷拭平台擋風玻璃之模型。

2. 雨刷刷拭平台擋風玻璃模型驗證理念

雨刷產品在設計時需要於雨刷刷拭平台模擬兩刷在擋風玻璃上的刷拭情形，為了釐清兩刷刷拭平台之擋風玻璃對雨刷刷拭振動的影響程度，因此需要瞭解擋風玻璃的振動特性。首先 2.1 節說明模型驗證之流程理念，確立具合理性之模型驗證方法，並於 2.2 節彙整擋風玻璃實際結構的各部位幾何尺寸。

2.1 雨刷刷拭平台擋風玻璃模型驗證流程

本節介紹模型驗證流程，如圖 1 所示，模型驗證分析流程分為有限元素分析、實驗模態分析與比較模態參數 3 個部分，在有限元素分析中，將以實際結構之幾何尺寸建立有限元素模型，並進行有限元素分析，獲得理論之模態參數，包括自然頻率與模態振型；於實驗模態分析中，進行實驗量測之佈點規劃後，執行實驗模態分析，得到實際之模態參數，包含自然頻率、模態振型、模態阻尼比；最後比對有限元素分析與實驗模態分析之模態參數，評估模態振型之物理意義重合程度與自然頻率的數值誤差是否在合理範圍內；若比對的結果不吻合，則修改有限元素模型，重新進行分析取得修正之模態參數，再次進行比對；若模態參數比對結果吻合，則完成模型驗證，即獲得等效於實際結構之有限元素模型。

2.2 雨刷刷拭平台擋風玻璃實際結構介紹

建構有限元素模型之前，需要了解實際結構之情形，圖 2 為雨刷刷拭平台之擋風玻璃實際結構圖，透

過量測擋風玻璃實際結構的各部位尺寸，將尺寸總表彙整為表 1。此擋風玻璃由三層結構組成，為 2 層玻璃中間夾入 1 層 PVB 材料，此外，擋風玻璃需有支撐柱支撐，支撐柱共有五個，其中四個位於擋風玻璃背部邊角位置，接觸擋風玻璃之面積部分長度為 6 cm、寬度為 6 cm，另一個支撐柱位於擋風玻璃下方抵住擋風玻璃，其接觸擋風玻璃之面積部分長度為 4 cm、寬度為 0.5 cm，以避免擋風玻璃下滑。

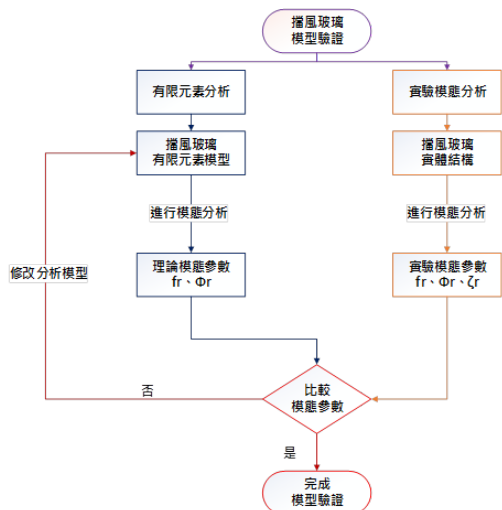


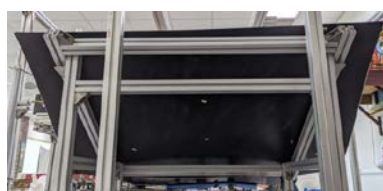
圖 1 模型驗證流程圖



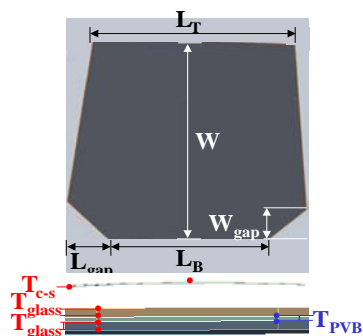
(a) 正視圖



(b) 側視圖



(c) 背視圖

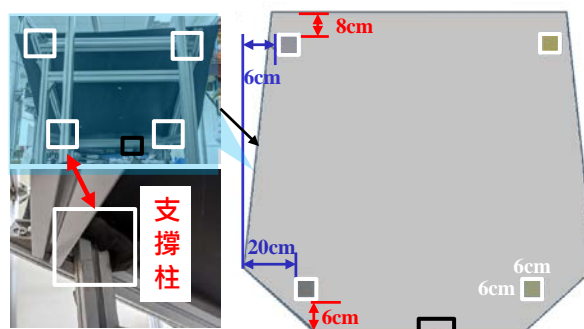


(d) 擋風玻璃尺寸示意圖

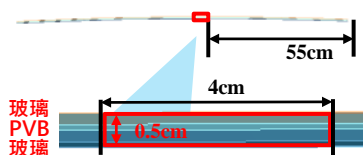
圖 2 兩刷拭平台之擋風玻璃實際結構

表 1 擋風玻璃各部位尺寸表

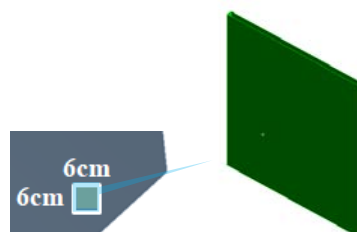
L_T (cm)	L_B (cm)	W (cm)	T_{glass} (cm)	T_{PVB} (cm)	L_{gap} (cm)	W_{gap} (cm)	T_{c-s} (cm)
119	77	108	0.2	0.1	24	21.6	1.6



(a) 背視圖



(b) 側視圖



(c) 支撐柱數學模型圖

圖 3 擋風玻璃數學模型圖

表 2 擋風玻璃材料參數表

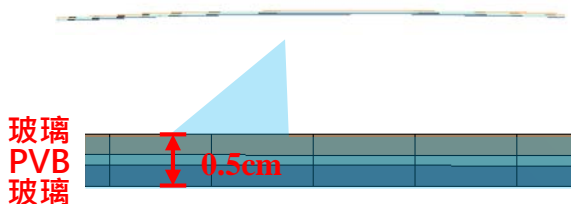
	Young's modulus (GPa)	Poisson's ratio	Density (kg/m ³)
玻璃	6.19	0.22	2380
PVB	0.26	0.44	1100
支撐柱	0.26	0.44	1100



(a) 正視圖



(b) 背視圖



(c) 側視圖

圖 4 擋風玻璃有限元素模型圖

3. 擋風玻璃模型驗證

本章根據 2.1 節之雨刷刷拭平台擋風玻璃模型驗證流程，詳細說明具體模型驗證步驟，於 3.1 節建立有限元素模型，進行有限元素分析，以求得理論分析之模態參數；於 3.2 節進行量測之佈點規劃，使用頻譜分析軟體、衝擊錘與加速規進行實驗模態分析，求得實驗分析之模態參數，於 3.3 節將理論分析之模態參數與實驗分析之模態參數進行比對，獲得等效於實際結構之擋風玻璃模型。

3.1 有限元素分析

本節探討有限元素分析之具體流程，根據量測到的實際結構尺寸與邊界條件建立數學模型，並設定有限元素模型各部件的材料參數、接觸方式與邊界設定，進行有限元素分析，獲得理論之模態參數。

圖 3 為擋風玻璃數學模型圖，擋風玻璃為多層玻璃且具有支撐柱接觸，因此需要建構代表支撐柱之數學模型，為了簡化模型，將擋風玻璃背面邊角位置之四個尺寸相同的支撐柱，假設其尺寸為長度 4 cm、寬度 0.5 cm、厚度 1 cm 之立方體，立方體底面為固定邊界以模擬地面，頂面與擋風玻璃接觸。此外，於擋風玻璃下方接觸之支撐柱，假設其尺寸為長度 4 cm、寬度 0.5 cm、厚度 1 cm 之立方體，立方體底面為固定邊界，頂面與擋風玻璃接觸，模擬實際邊界。

本文應用有限元素分析軟體(ANSYS)建構有限元素模型，材料參數設定如表 2 所示，對各部件設定對應的材料參數；擋風玻璃模型分為擋風玻璃本體與支撐柱，需要設定各部件間之接觸方式，在玻璃各個層次接觸方式設定為 bonded，玻璃與支撐柱接觸方式設定 no separation，各支撐柱立方體底面之位移限制設定為 $U_z=0$ 作為固定邊界。

建構之擋風玻璃有限元素模型如圖 4 所示，元素數量共 37047 個，節點數量共 148191 個。進行有限元素模型之模態分析後，獲得理論之模態參數，包含自然頻率與模態振型。

3.2 實驗模態分析

本節探討實驗模態分析之具體流程，進行實驗量測之佈點規劃，並介紹實驗模態分析使用的儀器架設、實驗方式與分析設定，最終進行實驗量測並進行曲線嵌合，得到實驗分析之模態參數。

實驗模態分析儀器架設如圖 5 所示，使用衝擊錘、加速規、信號擷取卡與頻譜分析軟體進行實驗模態分析，衝擊錘型號為 086C02，加速規型號為 27AM1-10，將衝擊錘作為驅動器，加速規作為感測器，而頻譜分析儀器使用信號擷取卡與頻譜分析軟體，信號擷取卡型號為 NI-9234，頻譜分析軟體使用客製化振動噪音量測系統(Sound and Vibration Measurement System, SVM)，量測頻寬為 5000Hz，頻率解析度(Δf)為 0.39(Hz)；實驗量測之佈點規劃如圖 6 之實驗模態分析佈點規劃圖所示，佈點數量為將加速規放置於第 22 點與第 99 點，實驗方式使用固定加速規，移動衝擊錘方式進行，取得擋風玻璃之頻率響應函數，並進行曲線嵌合獲得實驗之模態參數，包含自然頻率、模態振型、模態阻尼比。

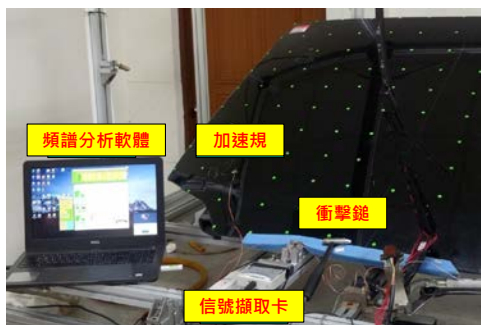
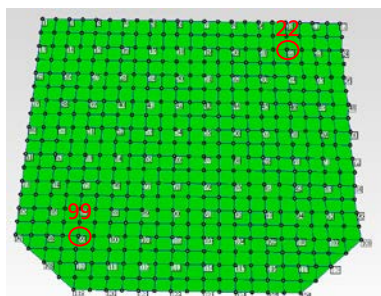
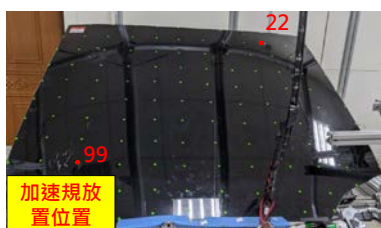


圖 5 實驗模態分析儀器架設圖



(a) 佈點規劃圖



(b) 實際結構量測點

圖 6 實驗模態分析佈點規劃圖

3.3 擋風玻璃模型驗證

在本節中，分別說明擋風玻璃理論與實驗之模態分析獲得的自然頻率與模態振型，並彙整理論與實驗之模態參數，評估兩者模態參數比對情形。

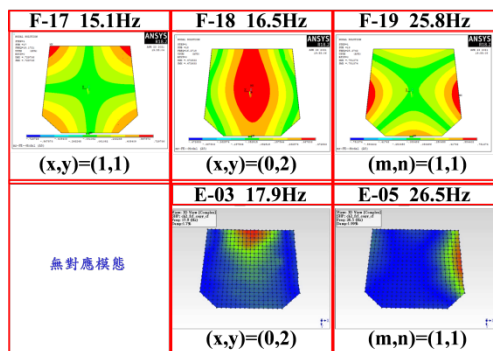
擋風玻璃理論與實驗之模態參數對應結果如表 3 所示，於 120Hz 內，有限元素分析結果共有 28 個模態，其中 16 個模態為支撐柱之振動模態，故不列入表格中；於實驗模態分析結果共有 17 個模態，與有限元素分析對應之模態，其自然頻率對應模態之自然頻率誤差在模態 E-12 與 E-13 誤差較大，而在低頻率模態之自然頻率誤差微小，圖 7 為有限元素分析與實驗模態分析之對應模態振型圖彙整，包括模態振型之物理意義與對應之自然頻率，其中模態 F-22 為平移模態。

圖 8 為 FRF 對應之模態振型彙整圖，透過比對理論分析與實驗分析之模態振型可以確認本次模型驗證有 9 個對應的模態，可以看出有些實驗模態分析部分的振動模態具不同頻率，但模態振型的物理意義卻相同，如：E-01~E-04、E-05~E-06、E-12~E-13 與 E-15~E-16，因此有多個實驗分析模態振型對應 1 個理論分析模態振型情形發生，整體而言誤差較小，有限元素分析與實驗模態分析對應具合理性。

表 3

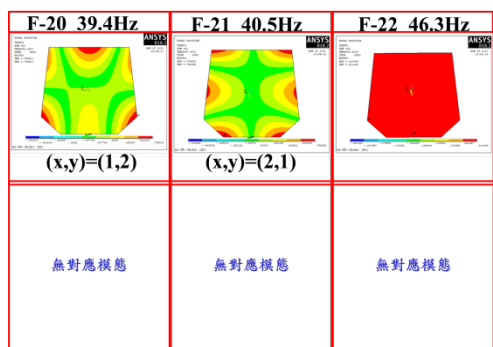
有限元素分析與實驗模態分析之自然頻率比較表

FEA		EMA		差值	誤差 (%)
mode	Natural frequency (Hz)	mode	Natural frequency (Hz)		
F-17	15.1				
F-18	16.5	E-01	14.8	1.7	10.3
F-18	16.5	E-02	16.5	0.0	0.0
F-18	16.5	E-03	17.9	-1.4	-7.8
F-18	16.5	E-04	19.7	-3.2	-16.2
F-19	25.8	E-05	26.5	-0.7	-2.6
F-19	25.8	E-06	28.9	-3.1	-10.7
F-20	39.4				
F-21	40.5				
		E-07	41.6		
		E-08	45.5		
F-22	46.3				
		E-09	48.1		
		E-10	50.8		
F-23	61.6				
F-24	63.8				
F-25	73.7				
		E-11	53.8		
F-26	77.7	E-12	58.5	19.2	24.7
F-26	77.7	E-13	60.9	16.8	21.6
F-27	94.2				
		E-14	103.6		
F-28	110.5	E-15	109.5	1.0	0.9
F-28	110.5	E-16	112.9	-2.4	-2.1
		E-17	117.2		



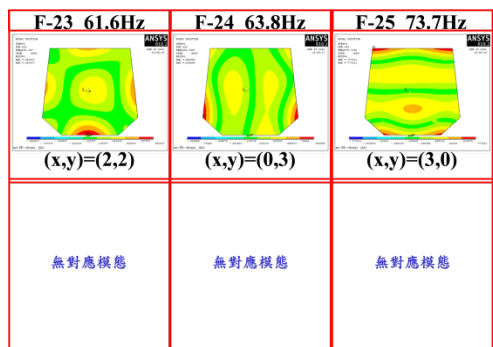
(a)

F-17 至 F-19 模態振型與對應之實驗模態分析模態振型



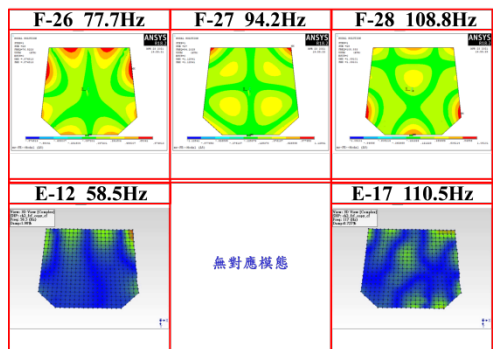
(b)

F-20 至 F-22 模態振型與對應之實驗模態分析模態振型



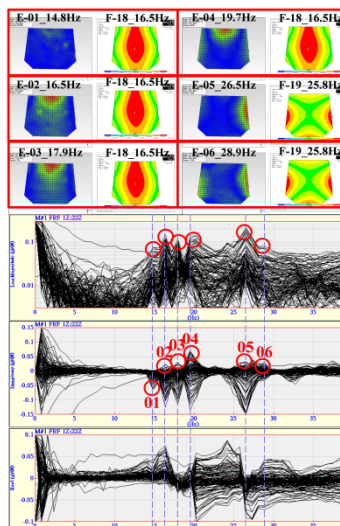
(c)

F-23 至 F-25 模態振型與對應之實驗模態分析模態振型

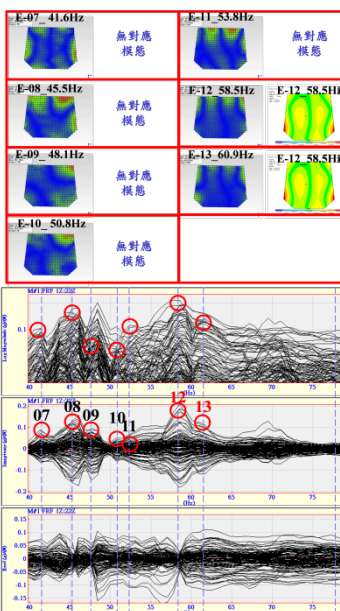


(d)

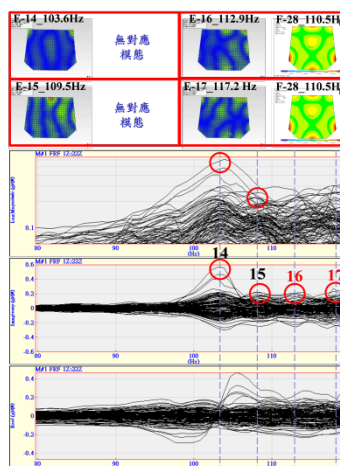
F-26 至 F-28 模態振型與對應之實驗模態分析模態振型
 圖 7 有限元素分析與實驗模態分析之對應模態振型圖



(a) 0~40Hz 模態振型彙整圖



(b) 40~80Hz 模態振型彙整圖



(c) 80~120Hz 模態振型彙整圖
 圖 8 FRF 對應之模態振型彙整圖

4. 結論

本文對雨刷刷拭平台之擋風玻璃進行模型驗證，明確瞭解雨刷刷拭平台系統的振動特性，並求得實際模態參數，其結論如下：

- (1) 由模型驗證的結果可知道有限元素分析與實驗模態分析共有 9 個模態振型對應，整體而言頻率誤差較小，表示有限元素分析與實驗模態分析對應具合理性。
- (2) 有限元素分析共有 28 個模態，其中前 16 個模態為支撐柱之振動模態，而頻率皆分布於 0~5Hz 之低頻率區間，未來可關注實驗模態分析中數個物理意義重複之低頻率模態，是否與支撐物具有關聯性。
- (3) 雨刷刷拭平台擋風玻璃模型驗證完成後可加入雨刷結構，探討擋風玻璃振動模態，對於雨刷膠條刷拭振動試驗的可能影響。

5. 參考文獻

- [1] 劉金雨，鄭維智，李蕊龍，2012，「基於 ANSYS 真空平板玻璃的動力學模態分析」，*全國性建材科技期刊*，第二卷，第二期，第 38-41 頁。
- [2] 夏國華，朱錦杰，童樹庭，2008，「平板玻璃鋼化有限元數值模擬」，*玻璃與搪瓷期刊*，第三十六卷，第五期，第 5-10 頁。
- [3] 張立軍，孫俊剛，孟德建，習坤，2014，「汽車前擋風玻璃結構模態的有限元建模」，*汽車工程學報*，第六期，第 402-406 頁。
- [4] 鄒惠芬，王雪峰，孫陽，李慧，2010，「真空玻璃支撐柱處玻璃的應力分析」，*瀋陽建築大學學報*，第二十六卷，第二期，第 356-359 頁。
- [5] 高軒能，王書鵬，2008，「靜力及衝擊荷載下夾層玻璃之變形性能」，*華僑大學學報*，第二十九卷，第三期，第 432-436 頁。

Model Verification of Windshield in Wiper Testing Platform

Bor-Tsuen Wang¹, Jun-Wei Wang Jian¹,
Chun-Lang Tsai², Yao-Kuang Tsai¹, Ying-Hui Wu³

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

²Taiwan Yunyi Technolgy Ltd.

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

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

ABSTRACT

In conducting noise and vibration test for wiper brushing effect, the wiper testing platform (WTP) is used to emulate the realistic wiper brushing conditions. For clearly identifying the vibration effect of wiper, the possible influence of windshield on testing should be clarified. Therefore, this work is to perform model verification of the windshield so as to obtain its finite element model equivalent to the practical structure. First, the conceptual idea and procedures for model verification are illustrated. Both finite element analysis (FEA) and experimental modal analysis (EMA) are, respectively, carried out. The modal parameters, including natural frequencies, mode shapes and modal damping ratios (only attainable from EMA), obtained from FEA and EMA are compared. The numerical FE model is justified to cope with modal parameters from the real structure, then the equivalent FE model of windshield can be obtained and useful in assisting observation on vibration mode shapes. The obtained FE model can be further applied to simulate the wiper testing platform for the wiper brushing over the windshield. The effect of windshield on the wiper brushing test can then be evaluated.

Keywords: wiper, testing platform, windshield, model verification.