

## 輕型車車架模態分析

黃仁龍，吳承柏，謝寶賢  
金屬工業研究發展中心

### 摘要

汽車為提供乘客在汽車行駛中良好的乘適性，當然必須考慮避免振動及噪音，其中解決的手段主要為懸吊系統，然而路面的激振力及傳動系統的激振力仍會傳入車體而激振車體共振，通常人體對振動最敏感的頻率位於1Hz-10Hz之間，因此整車避免有此自然頻率是必要的。而本文所探討的輕型車車架其重量僅為整車一部份卻提供大部份之剛性，因此單單車架的自然率頻率應遠高10Hz才可能確保整車之自然頻率高於10Hz，以提供良好的乘適性。本文將使用分析軟體(ABAQUS)運用於模態分析，進行振動方面的考量，在前處理方面由於原始3D設計模型因網格分割困難所以有進行部份修改，其餘幾何尺寸將以不變動為原則，使用元素為C3D4實體元素，元素數量約為408,000個，除有限元分析外並作實驗以比對驗證有限元模型建構之合理性。本文列出部份自然頻率及振型，有限元分析經與實驗模態分析比對後，可確認本模型及分析所得之結果可供設計變更參考用。

**關鍵字：**輕型車、模態分析、有限元素法、實驗模態分析

### 一、緒論

節約能源已經是普世的價值，在節省驅動能源的考量下，不犧牲安全為前提的輕量化更為必要的趨勢，也是設計人員的準則之一。汽車車體的輕量化可節省汽、電的耗損，因此也是設計者努力的目標，輕型車車架設計即為符合輕量化趨勢而執行，其採用材料輕量化的手段，也就是根據原設計之鋼管製車架（部份使用矩型管，重量：26 kg）所重新設計之鋁合金車架（部份變更使用矩型管，且厚度有些微增加，重量：20 kg）。輕量化鋁合金車架的主車架，鋁管材料為A6061-T6，接頭材質為A356.0-T6，主車架之靜態彎曲剛性2,001 N/mm，已經達到車架彎曲剛性之設計目標值(2,000 N/mm)。預期車架在重量下降及剛性提升的狀況下，輕型車車架的自然頻率相較於原鋼管設計應有所提昇。

### 二、有限元素模型

輕型車車架由前段車架、縱樑組等組成，構件包括矩型管、圓形管、板件及接頭，接合處採用焊接的方式結合，在進行分析前為求簡化前處理程序，因此有限元模型將所有組件合併為一體，不考慮接合處焊

接等效應，並將整個車架適用同一個材料性質。所進行的分析，將就鋼管車架有限元模型及鋁管車架有限元模型分別求解，兩種車架的結構設計並不相同，鋁管車架已做了結構補強。

輕型車車架構件主要為管件及接頭，材料為鋁合金 A6061-T6 及鋁合金 A356，其機械性質是由拉伸試驗所獲得，圖 3 所示為 A6061-T6 標準試片之母材試片，亦有由兩種鋁合金銲接後再加工製成標準試片。將 3 種不同鋁合金銲接試件 A、B、C 即 A356 對 A6061 銲接後之試件進行拉伸試驗，個別平均後所得焊道彈性係數 A 為 59.47GPa，B 為 59.93GPa，C 為 59.01GPa，然而輕型車車架底盤材質是以 A6061 為主，且多為 A6061 對 A6061 之銲接，故 A、B 及 C 拉伸所得之數據並不採用。拉伸試驗結果從曲線中求出彈性係數，由圖 3 得知 A6061-T6 母材彈性模數為 67880 N/mm<sup>2</sup>。

#### 2.1 有限元素模型

由於管件及接頭幾何形狀複雜，所以有限元模型元素使用 C3D4，並採用網格自動分割的方式。鋁製車架有限元模型如圖 3~圖 4，鋼製車架有限元模型如圖 13。

#### 2.2 邊界條件及負載

### 邊界條件

為瞭解不受拘束之車架的自然頻率及振型，因此邊界條件定為自由端(Free-Free)。

### 負載

無負載，未承受預加之變位或力量。

### 材料參數

鋁製車架

彈性係數 67880 N/mm<sup>2</sup>

密度 2.8 e-9 T/mm<sup>3</sup>

鋼製車架(原設計)

彈性係數 211111 N/mm<sup>2</sup>

密度 7.8e-9 T/mm<sup>3</sup>

## 三、有限元分析結果與討論

分析程序為使用 Lanczos 法，擷取 10 組自然頻率及振型，本文並未將全部分析振型放入圖中，鋁製車架自然頻率分別為 47 Hz、70 Hz、106 Hz、127 Hz、131 Hz 如圖 6-圖 12，鋼製車架自然頻率分別為 47Hz、49 Hz、79 Hz、82 Hz、114 Hz 如圖 14-圖 19，文獻 3 (以他種軟體) 用薄殼進行模擬分析之結果為 50 Hz、62 Hz、79 Hz、98 Hz、106 Hz、129 Hz。表 1 為對應表，由表 1 可以看出三種模型分析結果與實驗的前兩個振型是一致的但是頻率略有差異。然而即使是同為鋁製車架分析結果與實驗結果的自然頻率仍略有差異，問題應該在於實質上車架並不是單一的結構體，因為鐸點就包含了很多不同剛性的介面存在，而且鋁製車架 3D 圖比實車少了後尾架。

圖 6 之平面彎曲振型及圖 7 之平面扭擺振型應該是無可避免的平面基本振型，然而結構上的強化應該可再將自然頻率往上調，以原鋼製設計與鋁製設計來做比較(參見表 1)自然頻率實際已經因為重新設計往上移動了。

圖 8 之兩側樑反相彎曲振型連動了其他管件的扭擺，應可由側樑之補強改善。圖 10 之尾端局部振型，可見車架尾部仍有側樑之補強空間。圖 11 之平面歪斜振型，應該需要相當大的能量才可激振出，然而振型若要改善仍然還是需就現有的車架平面框架設計改善著手。

## 四、結論與未來展望

有限元素模擬應用於結構模態分析，除可提供設計改善外，也可提供實驗模態分析測點佈置位置的選取及幾何建構的參考，可避免選到節點或節線上，影響實驗結

果。在自然頻率分析方面，鋁製設計的自然頻率確實比鋼製設計的自然頻率為高，因此有限元素分析也可確實提供動態資訊給設計者。即使表 1 之對應表並不夠令人滿意，然而多構件接合的結構本來在調校(tune)前，分析與實驗就極有可能有差異，差異原因包括有限元模型、實驗件之製造、介面及實驗佈置、幾何建構、量測技巧、後續分析等。以下歸納出幾項未來進行車架分析的參考：

1. 由於管半徑與壁厚之比值約為 8，因此有限元模型應該可以使用薄殼去進行模擬以求簡化。
2. 重新設計之鋁製車架動態性能與鋼製車架經分析比對後，鋁製車架動態性能已有所提昇，部分原因在於靜態剛性已經變強了，然而單一變形方向的高靜態剛性並不保證各動態變形是可以接受的，因此仍需詳細觀察動態變形以增加動態剛性。
3. 鋁製車架少了一個如圖 16 鋼製車架之 y-z 平面彎曲振型(圖 23 鋁製車架實驗模態振型)，該彎曲振型為車架彎曲加上後尾架彎曲如同後尾架前有一節線存在，原因應該是鋁製車架模型少了後尾架，當然後尾架也可能影響了較高頻之振型出現的先後次序。
4. 若需要瞭解此款車架的動態變形特性，可先使用空間桁架 (Frame 可提供三向力及三向力矩) 進行模擬，因為就分析結果來看，幾個低頻的振型幾乎用四桿件的桁架都足夠描述動態變形，如此也可減少網格分割時間，也可提供初步結果。
5. 設計時採用最佳化設計，提供設計空間給軟體進行分析也可獲得相當好的構想設計。

## 五、參考文獻

- [1] ABAQUS/STANDARD , HKS , Version6.5。
- [2] Thomas D. Gillespie, "Fundamentals of Vehicle Mechanics", SAE , 2000。
- [3] 胡惠文, 陳永昌, 謝寶賢, "以空間結構概念整合車輛底盤與車身結構之設計分析研究", 期中報告。

## 六、表格

表 1、振型對應表

實驗模態(Hz)	有限元分析：自然頻率(Hz)		
	鋁管	鋼管	文獻 3(薄殼)
54	47	47	50
66	70	49	62
105			
118		79	79
129	131		
148	127		129
	106	82	
		114	

七、圖片



圖 1 整車設計圖

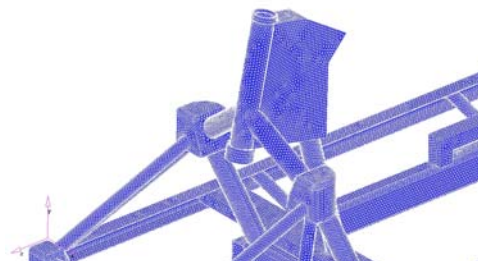


圖 5、鋁製車架有限元模型



圖 2、輕型車車架

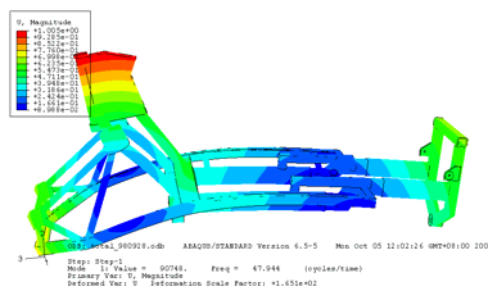


圖 6、鋁製車架\_48Hz\_2-3 平面彎曲振型

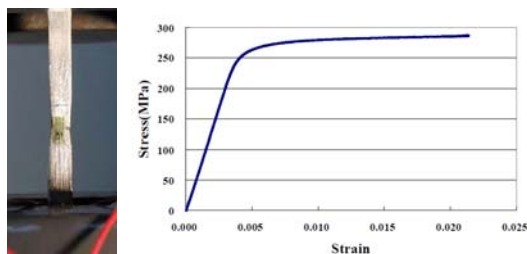


圖 3、鋁合金 A6061 母材拉伸試驗

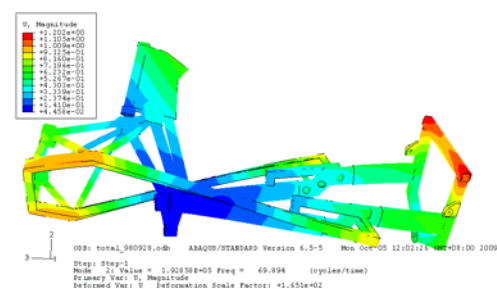


圖 7、鋁製車架\_70Hz\_平面扭擺振型

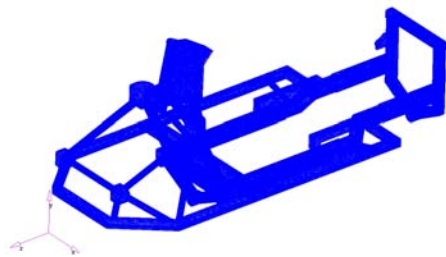


圖 4、鋁製車架有限元模型

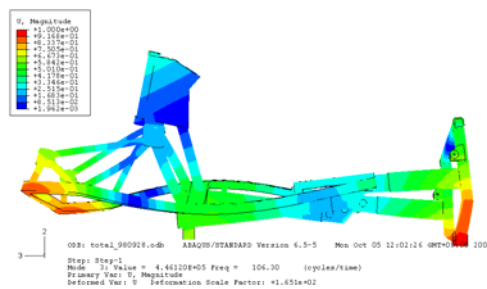


圖 8、鋁製車架\_106Hz\_兩側樑反相彎曲振型

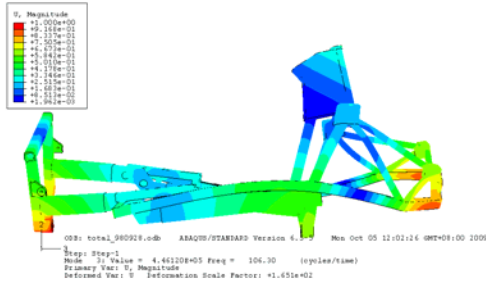


圖 9、鋁製車架\_106Hz\_兩側樑反相彎曲振型

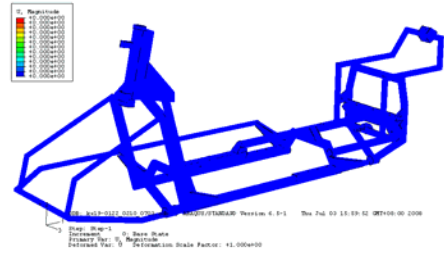


圖 13、鋼製車架有限元模型

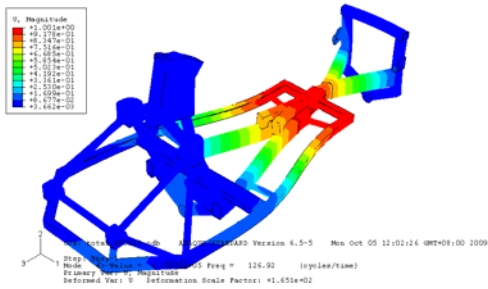


圖 10、鋁製車架\_127Hz\_尾端局部振型  
與實驗模態 148Hz 振型相似

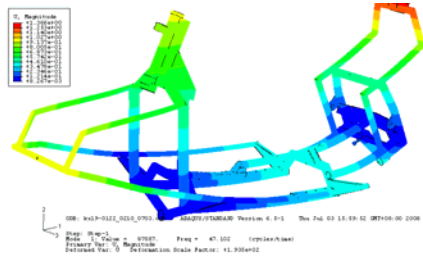


圖 14、鋼製車架\_47Hz\_平面彎曲振型

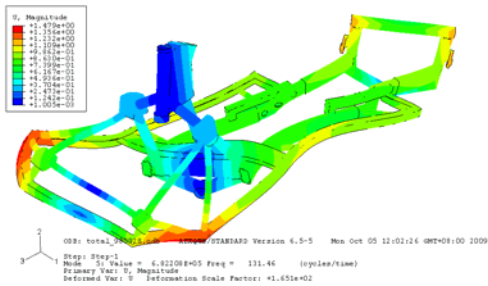


圖 11、鋁製車架\_131Hz\_平面歪斜振型  
與實驗模態 129Hz 振型相似

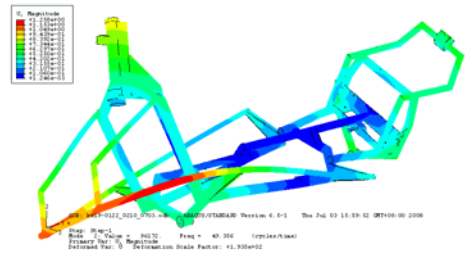


圖 15、鋼製車架\_49Hz\_平面扭擺振型

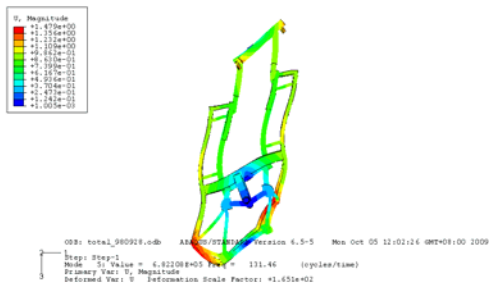


圖 12、鋁製車架\_131Hz\_平面歪斜振型

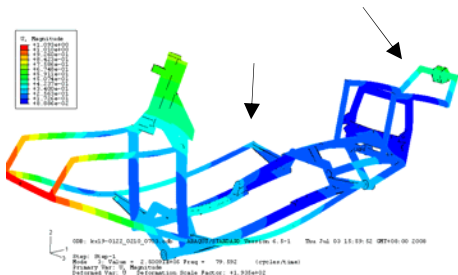


圖 16、鋼製車架\_79Hz\_平面彎曲振型

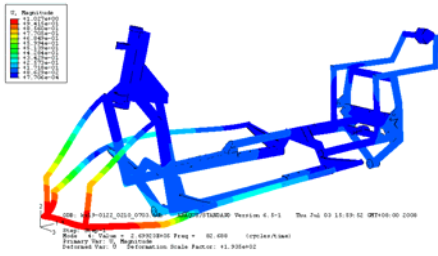


圖 17、鋼製車架\_82Hz\_兩側樑反相彎曲振型

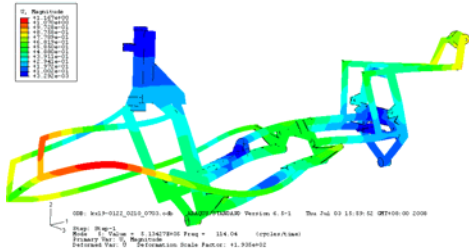


圖 18、鋼製車架\_114Hz\_彎曲扭轉振型

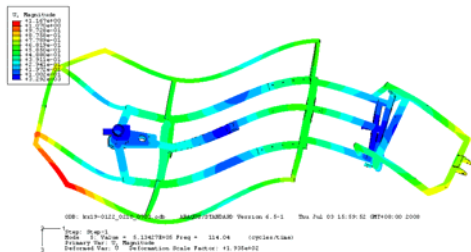


圖 19、鋼製車架\_114Hz\_彎曲扭轉振型

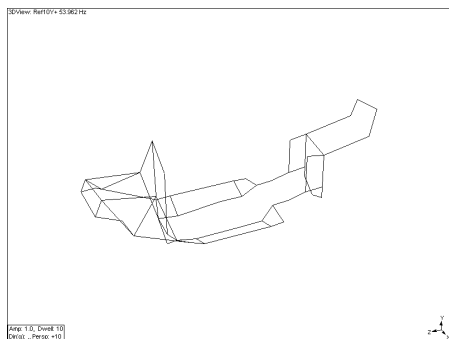


圖 20、鋁製車架\_54Hz\_實驗模態平面彎曲振型

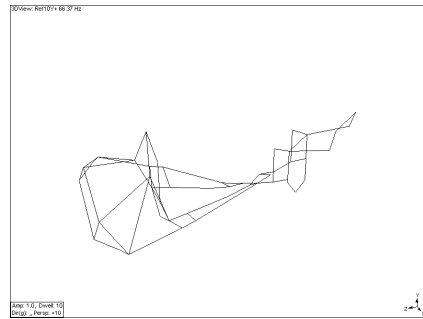


圖 21、鋁製車架\_66Hz\_實驗模態平面扭擺振型

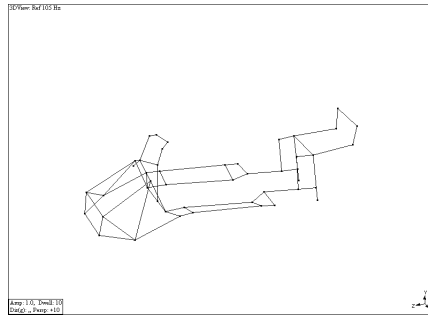


圖 22、鋁製車架\_105Hz\_實驗模態振型

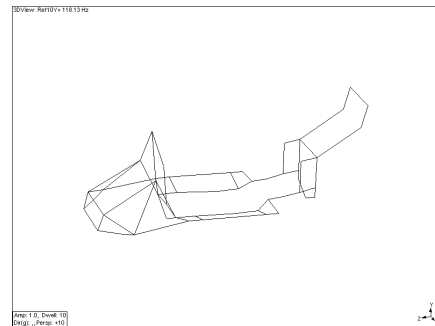


圖 23、鋁製車架\_118Hz\_實驗模態振型

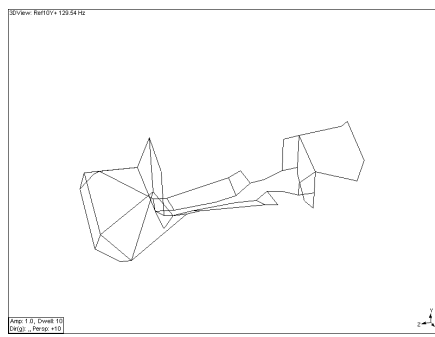


圖 24、鋁製車架\_129Hz\_實驗模態振型

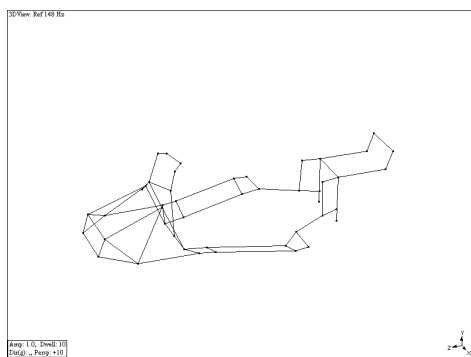


圖 25、鋁製車架\_148Hz\_實驗模態振型