

引擎車研改為電動車對車輛振動及乘適性影響之探討

葉重宇¹、吳漢鵬²、林楨諺³

¹財團法人車輛研究測試中心 試車場部 實車測試課(副工程師)

²財團法人車輛研究測試中心 試車場部 實車測試課(副工程師)

³財團法人車輛研究測試中心 試車場部 實車測試課(副工程師)

¹E-mail:goldenleft@artc.org.tw

摘要

隨著全球逐漸重視電動車發展，台灣擁有相當優異的機電整合及車輛零組件開發技術，因此台灣的電動車發展具備了相當的潛力及競爭力。目前台灣電動車的開發大多將現有的引擎車輛研改為電動車進行測試及研發，馬達替代引擎，電池配置於車底或車身後方，導致車輛底盤懸吊荷重與引擎車輛不同，進而影響車輛動態乘適性能。本研究參考 ISO2631-1:1997 舒適性評價方法，評估一輛引擎車以及同車型僅動力系統研改為馬達的電動車，在財團法人車輛研究測試中心之試車場特殊路面:R-10 mm 凸起路面、H-80 mm 起伏路面及一般平坦路面上行駛，比較其懸吊位置振動值以及駕駛座底板位置的舒適性。因電動車的動力馬達及電池配置導致空車重增加且車輛重心後移，前後懸吊荷重增加，但底盤懸吊系統未進行研改，導致電動車振動值、車身俯仰角均比引擎車型大，且駕駛座椅處振動值亦比引擎車型大，引擎車型與電動車在 ISO2631-1:1997 舒適度等級中，皆屬於略微不舒服的等級，但電動車的加速度均方根值均有比引擎車型更大的趨勢，建議以引擎車輛研改為電動車的過程中，應注意調整整體底盤懸吊剛性、阻尼改善車輛乘適性能，以維持原本乘適性能或更進一步優化。

關鍵詞：電動車底盤、車輛振動、乘適性客觀評價。

1. 前言

近年來石化原料使用量日益增加，伴隨著石油危機的到來，能源短缺與環保意識的抬頭，再加上地球暖化導致氣候變遷，全球正逐漸產生一批新的「氣候難民」。為降低二氧化碳排放量及確保地球現有的環境不再受到破壞，電動車發展越來越受到全球高度重視。台灣原本就擁有相當優異的機電整合技術，加上車輛零組件技術亦已十分成熟，因此在台灣電動車發展具備了相當潛力及競爭力。目前台灣電動車的開發大多將現有的內燃機車輛研改為電動車進行測試及研發，雖然電動車目前發展的關鍵點仍在動力及續航力，但電動車以馬達替代引擎，再加上大多配置於車底或車身後方的電池重量導致車輛底盤懸吊荷重與引擎車輛不同，將進而影響車輛動態乘適性能，過多的振動亦影響行車人員與車輛設備的正常功能與合理壽命，本文即針對引擎車研改為電動車(僅動力系統研改)的振動及乘適性能進行比較探討。

乘車舒適性即為乘車品質，其範圍可廣義的包括振動、噪音、空調、照明、座椅及頭枕或操作開關是否符合人體工學等，而其中與車體及懸吊系統關係最密切者，當屬振動問題。1965年SAE乘適性與振動資料手冊[1]，提出四分之一車輛懸吊模型，用以討論主懸吊系統所支撐之乘載車身質量。近年來，國內對於乘適性的探討也有相關研究。1993年劉玉文[2]等人以ISO 2631-1/1985作為評估標準，實際量測全身振動量及頻率分布的特性，探討長期暴露於振動下駕駛者的健康程度。2003年曾倦賢[3]以ISO 2631-1/1997為評估標準，探討耐久測試人員於不同耐久測試條件下可能造成之職業傷害程度。2006年張榮明[4]依據ISO 2631-1/1997進行實車及模擬台上乘適性能評估及調校。乘車舒適性分析有多項的國際規範可供參考，本研究則參考ISO 2631-1-1997[5]評價方法作為評估乘車舒適性之標準，以車輛中心試車場特殊路面作為激振來源，探討一引擎式車輛將動力研改為電動車後對懸吊及車身振動值的影響，作為引擎車輛研改為電動車時底盤開發之參考。

2. 研究方法

2.1 振動及舒適性評估方法

本研究以量測車輛經過特殊路面所引起的懸吊加速度歷程峰值差異量(peak to peak value)作為評估振動的方法；另以ISO 2631-1/1997評價方法作為評估車輛乘適性之標準，其為彙整實驗室及研究成果，可作為評估人員所處環境的振動造成人體健康、舒適、感覺及暈車之風險，但是並不包含如車禍之巨大振動。ISO2631-1以量測振動(即加速度)大小以及頻率來評估對人體之影響，將車輛行駛中量測得到之水平(x及y方向)、垂直(z方向)加速度時域值(m/s²)為 $a_{wx}(t)$ 、 $a_{wy}(t)$ 及 $a_{wz}(t)$ ，經由三分之一八度音轉換，經0.5 Hz的高通濾波及80 Hz的低通濾波再轉換為頻率資料，所得到的 a_{ix} 、 a_{iy} 及 a_{iz} 分別為第i個三分之一八度音之加速度值(m/s²)，再經各頻率之權重後可得到各方向之頻率權重加速度值 a_{wxx} 、 a_{wyy} 及 a_{wzz} ，權重計算如方程式(1)~(3)所示：

$$a_{wxx} = \left[\sum_i (w_{di} \times a_{xi})^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

$$a_{wy} = \left[\sum_i (w_{di} \times a_{yi})^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

$$a_{wz} = \left[\sum_i (w_{ki} \times a_{zi})^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

式中：

a_{wx} 、 a_{wy} 、 a_{wz} 為頻率權重加速度

w_{di} 、 w_{ki} 為第 i 個三分之一八度音之權重

a_{xi} 、 a_{yi} 、 a_{zi} 為第 i 個三分之一八度音之加速度

取 a_{wx} 、 a_{wy} 、 a_{wz} 之最大值做為評估之基準值。

圖 1 為 w_d 、 w_k 頻率權重曲線，其代表水平及垂直方向振動之權重，圖中所表示的意義為當垂直方向的振動頻率介於 5~8 Hz，水平振動的頻率介於 1~1.25 Hz 時，同樣的振動量對於人體所產生的影響最大。例如，當垂直方向產生 1 m/s^2 且頻率為 8 Hz 之振動，與垂直方向產生 3.3 m/s^2 且頻率為 40 Hz 之振動，對人體產生的影響是十分接近的，因此車輛設計應避開上述頻率之振動，以減低振動對人體的影響。ISO2631-1 規範中的評估標準列出，在振動環境下，以加速度均方根權重進行評估的舒適等級如表 1 所示。

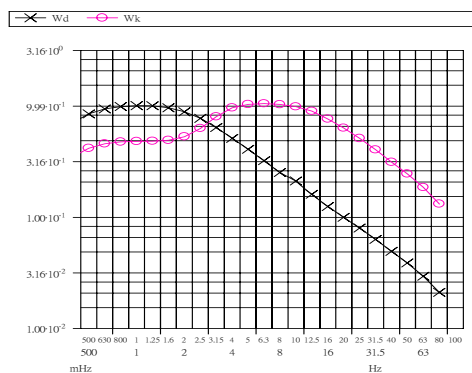


圖 1 ISO2631-1:1997 頻率權重曲線

表 1 ISO2631-1:1997 舒適度等級

加權均方根	評估結果
$\leq 0.315 \text{ m/s}^2$	不會不舒服(Not Uncomfortable)
$0.315 \sim 0.63 \text{ m/s}^2$	略微不舒服(A Little Uncomfortable)
$0.5 \sim 1 \text{ m/s}^2$	有點不舒服(Fairly Uncomfortable)
$0.8 \sim 1.6 \text{ m/s}^2$	一般不舒服(Uncomfortable)
$1.25 \sim 2.5 \text{ m/s}^2$	非常不舒服(Very Uncomfortable)
$\geq 2 \text{ m/s}^2$	極端不舒服(Extremely Uncomfortable)

ISO2631-1 以量測振動大小及頻率來評估對人體之影響，當車輛行駛於隨機不平整之路面時所引起之振動，經由輪胎、懸吊、座墊等彈性阻尼元件傳遞到人體，其中輪胎及懸吊系統特性所造成的影響最大，本研究以車輛研究測試中心之試車場特殊路面作為車輛激振來源，以引擎車無負載狀態(車輛空車加一位駕駛者及必需之儀器)及全負載狀態(車輛最大負載)進行實驗，並以根據此車型研改之電動車進行實驗比對，其測試流程如下：

(1)選擇測試路面：測試路面選擇車輛研究測試中心的 R-10mm 凸起路面及 H-80mm 起伏路面作為車輛激振來源，用以量測車輛懸吊上下位置之振動量，其中 R-10 mm 凸起路面為平坦路面上設置半徑 10 mm 之半圓形凸起路面，凸點間距為 10 m，共 5 處凸點所組成；H-80 mm 為兩弧形之起伏道路，起伏頂點距地高約 80 mm，相距 10 m，總長為 20 m 之起伏路面；另選擇以一般平坦路面模擬車輛於良好路面行駛，用以評估駕駛座處底板舒適性。

(2)決定車輛量測位置：訊號量測位置分別為前軸左右懸吊下控臂、懸吊塔，車輛後軸為整體式懸吊系統，故量測後軸差速器及其上方車輛底板位置。下控臂及差速器之振動量代表車輛簧下質量之振動，懸吊塔及後車廂底板的振動量代表簧上質量之振動，量測車輛經過特殊路面時，振動傳達到簧下質量及簧上質量之差異。於駕駛座底板處量測振動量，評估車輛振動傳達到座位時的舒適性。另於前後懸吊處安裝拉線式位移計，量測懸吊伸縮量以評估車輛俯仰程度，安裝位置示意圖如圖 2。

(3)加速規安裝：以 SILICON 單軸式加速度計量測振動訊號，振動量測範圍為 10 g，頻率響應範圍為 0~400 Hz，可涵蓋 ISO 2631-1 針對舒適性評估之頻率要求 0.4-80 Hz。使用之儀器設備規格如表 2。因測試路面主要為相對車身上下方的輸入，本研究僅針對 z 軸方向的振動值進行量測及分析。

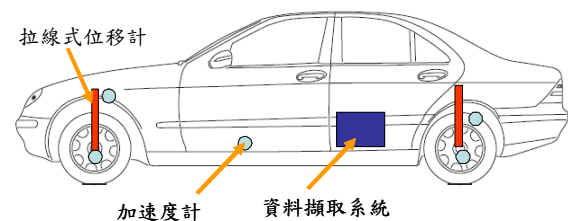


圖 2 訊號量測設備安裝示意圖

表 2 儀器設備規格簡表

設備名稱	廠牌/型號	備註
加速度計	SILICON / 2012	量測振動量(g)
拉線式位移計	Firstmark / 161-1915-C8SS	量測懸吊位移量 (mm)
資料擷取系統	IMC/ μ -Musys	記錄訊號

(4)訊號紀錄及處理：以 IMC 公司的 μ -Musys 資料紀錄器將訊號擷取及儲存，供後續分析之用。

(5)濾波及取樣：採用 200 Hz 之低通濾波。

(6)分別在高速及低速下進行量測：測試時分別在不同路面及速度下(30 km/h 及 60 km/h)進行量測。

2.2 測試車輛資料

本研究以引擎車(原況)及其同車型但動力研改為電動車(EV)為實驗車輛，進行振動及乘適性評估，該引擎車之前懸吊為麥花臣懸吊系統，後懸吊為葉片彈簧，

更改為電動車後其底盤懸吊系統不變，僅替換引擎為動力馬達以及增加電池組。引擎車原況經研改為電動車後，空車重增加了 193 kg，測試時加上駕駛員及適當儀器之重量為無負載重，分別為 1,277 kg 與 1,473 kg，前後軸重分配比例由 49.5:50.5 變更為 47.3:52.6，車輛重心往後軸移，全負載則配重至原況引擎車之最大總重，詳細之無負載前後軸重配置比例請參考表 3。

表 3 實驗車輛軸重配置

	原況			EV		
	前軸	後軸	總重	前軸	後軸	總重
無負載(kg)	632	645	1,277	697	776	1,473

3. 振動及乘適性評價結果

3.1 懸吊振動分析

原況以低速 30 km/h 進入 R-10 mm 凸起路面，前後軸懸吊上下之振動如圖 3。R-10 mm 凸起路面 5 處凸起的輸入經過輪胎傳到前後懸吊的振動值十分明顯，由於 R-10 mm 凸起路面為一高頻的輸入，車輛通過該路面時，路面振動主要被輪胎的阻尼效果及懸吊的阻尼所吸收，若車速更快，有時候會出現輪胎來不及反應路面輸入，振動值反而較低速通過時更低。振動經過懸吊彈簧及阻尼後傳達到前軸懸吊塔及後軸車身底板，振動量被懸吊系統大幅吸收，由圖形中可看出 R-10 mm 的激振在經過懸吊後傳達到車內已經微乎其微。

圖 4 是車輛以低速 30 km/h 進入 H-80 mm 起伏路面傳達懸吊上下方的振動量及車身產生的俯仰角，相較於 R-10mm 凸起路面，H-80 mm 起伏路面屬於相對低頻的輸入，輸入振幅大加上阻尼所吸收能量有限，傳遞到懸吊上的振動值較 R-10 mm 凸起路面為大。

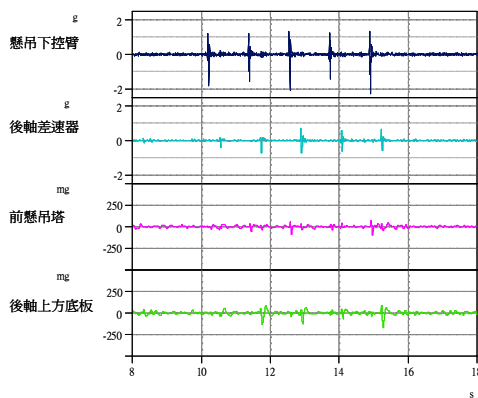


圖 3 原況 通過 R-10 mm 凸起路面振動歷程

圖 5~圖 8 為原況與 EV 在無負載及全負載狀態下，分別以車速 30 km/h 與 60 km/h 通過 R-10 mm 凸起路面的振動特性值比較圖，振動特性值為車輛振動波形之峰值差異量(peak to peak value)。分別以前、後軸懸吊以下及懸吊以上之量測位置進行比較。車輛由引擎車更改為電動車後，經過 R-10 mm 路面的振動值有變大的趨勢，兩測試車輛經懸吊之減振效果後，傳到車身的振動量明顯變小，以車身上的振動值來比較，EV 的振動量比起

原況仍有偏大趨勢，尤其在前軸的部分特別明顯，可看出懸吊系統更改為電動車後，因為懸吊負載增加造成的影響。以高速(60 km/h)通過 R-10mm 路面時，從圖中可看出懸吊下方與懸吊上方的振動量隨車速提高而變小的趨勢，因為高速時輪胎及懸吊無法完全將振動傳達到加速度計即已通過凸起，因此高速時車身振動反而較小。

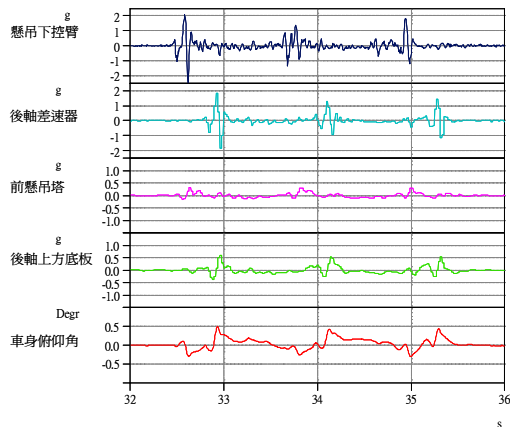


圖 4 原況 通過 H-80 mm 起伏路面歷程

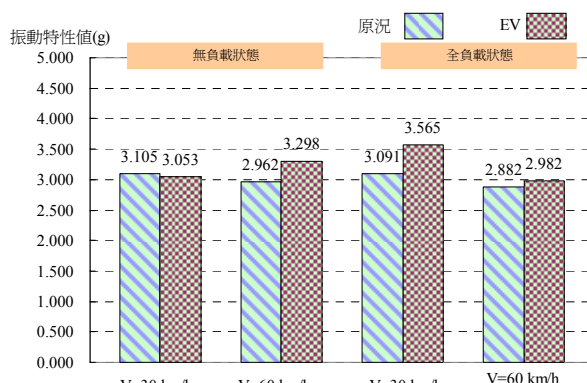


圖 5 前懸下控臂振動特性值比較

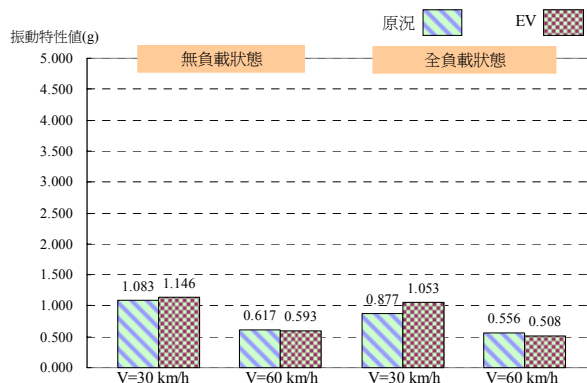


圖 6 後軸差速器振動特性值比較

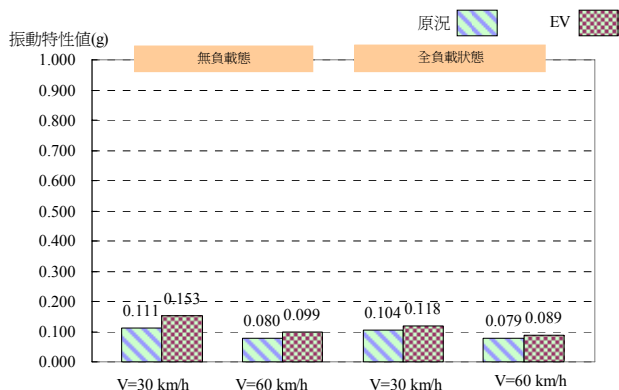


圖 7 前懸吊塔振動特性值比較

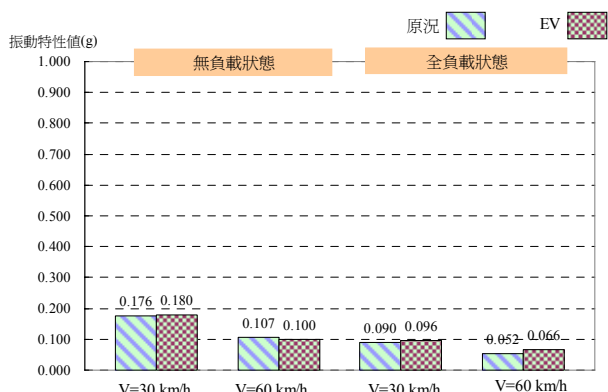


圖 8 後軸上方地板振動特性值比較

圖 9 為原況與 EV 在 H-80 mm 路面時的俯仰角峰值比較，觀察俯仰角可發現越高的車速進入 H-80 mm 起伏路面，車身產生的俯仰角也越大，原況及 EV 皆有此趨勢，而 EV 車身俯仰角峰值均比原況的俯仰角峰值大，可知引擎車研改為電動車後導致懸吊負荷增加，經過起伏路面時會引起車身較大的俯仰角，且電動馬達與電池的配置使車輛重心往後軸移動，導致測試過程中 EV 離開 R-10 mm 凸起路面與通過 H-80 mm 起伏路面時所產生的後軸撞擊音，與原況相較下更明顯，相關分析可作為日後深入探討的課題。

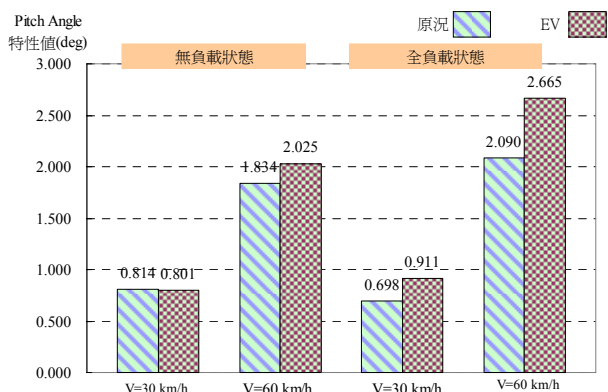


圖 9 實驗車通過 H-80 mm 起伏路面車身俯仰角比較

3.2 駕駛座椅底板乘適性分析

圖 10~圖 11 為實驗車在一般平坦路面上行駛，路面之振動經過懸吊傳達到駕駛座椅底板的垂直向加速度頻譜比較圖，圖中左側註解括號內數字為行駛車速。由圖中可看出在低速行駛狀態下，實驗車輛在低頻的振動下有較大的振動，而在 4~8Hz 的垂直振動頻率下，EV 比起原況有較大的振動值，對人體造成不舒適影響較大，且全負載狀態也有相同趨勢。但在高速(60 km/h)行駛下，則兩車的振動對人體造成的影響皆小，由此可知車輛在一般平坦路面上行駛時，車速 60 km/h 較低速 30 km/h 行駛舒適度較佳。

圖 12 為駕駛座底板處於一般平坦道路上的加速度均方根值，座椅底板位置的加權均方根加速度皆到達 ISO2631-1 舒適度評估標準「略微不舒服」程度(0.315 m/s²~0.63 m/s²)，亦可明顯看出 EV 經過加權後的均方根加速度，在各個狀態之下皆明顯高於原況的加權均方根加速度，表示車輛因配置了電池與馬達導致重心位置後移，影響了駕駛座底板處的乘適性能。

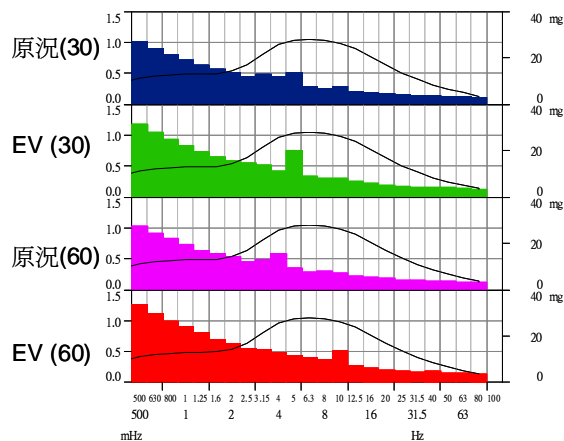


圖 10 座椅底板加速度頻譜比較圖(無負載)

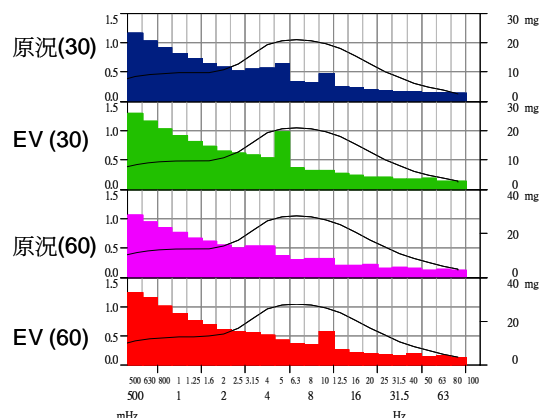


圖 11 座椅底板加速度頻譜比較圖(全負載)

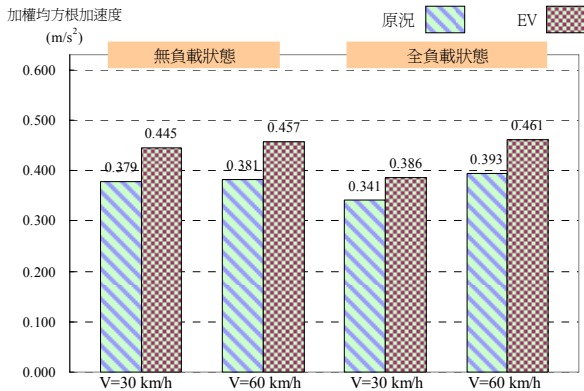


圖 12 座椅底板加權均方根加速度比較

4. 結論

本研究針對引擎車以及經動力研改為電動車後車身之懸吊振動及乘適性進行分析，探討車輛研改為電動車後以不同的負載、車速行駛於不同路面時對於振動及乘適性的影響，綜合其結論與建議如下：

(1) 兩車以 30 km/h 及 60 km/h 通過 R-10mm 凸起路面與 H-80 mm 起伏路面，以高速通過 R-10 mm 凸起路面所引起的振動較低速狀態小，而通過 H-80 mm 起伏路面的振動及車身俯仰角則是高速比低速大，因為 R-10 mm 凸起路面屬於高頻率路面，較高速通過時輪胎及懸吊反應不及，故振動特性值較低速小；而 H-80 mm 起伏路面則屬於低頻振動路面，越高速通過該路面所引起的振動也越大。於一般平坦路面行駛時，以駕駛座椅處底板的加速度頻譜分析看來，兩車都出現高速較舒適的情況。

(2) 當此引擎車研改為電動車後，因為動力馬達及電池的配置導致重心往後軸移動且總重變重，在通過 R-10 mm 凸起路面與 H-80 mm 起伏路面時，無論是簧下質量或簧上質量的振動都比起原況大，車身俯仰角也有相同趨勢。在一般平坦路面行駛時，駕駛座椅處底板的加權加速度均方根值以 EV 較大，兩車的舒適度都在略微不舒服的程度。

(3) 車輛由引擎動力車研改為馬達動力後，由於懸吊負載增加且重心往後移動，確實影響了整車的懸吊及乘適性，勢必針對底盤進行調校，建議可藉由調整整體底盤懸吊剛性、阻尼改善經過起伏路面時的車身俯仰程度，以維持原本的乘適性能或更進一步優化。

5. 致謝

承蒙經濟部科專計畫研究經費支持，得以完成本研究，在此致上謝意。

6. 參考文獻

- [1] Ride and Vibration Data Manual, SAE J6a, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA, December 1965.
- [2] 劉玉文，全身振動的評估及其對人體健康危害之探討-客車，期末報告，行政院衛生署，1993。

- [3] 曾愷賢，應用 ISO2631-1 評估車輛測試員職業傷害可能性 & 振動頻率低於 0.5Hz 時 ISO2631-1 適用性之探討，論文，車輛研究測試中心，2004。
- [4] 張榮明，車輛振動舒適性評估分析，論文，車輛研究測試中心，2004。
- [5] International Standard “Mechanical vibration and shock- Evaluation of human exposure to whole-body vibration”，ISO2631-1:1997(E)