

傳統引擎車研改為電動車之車輛運動性能影響與底盤設計參數調整研究

黃朝琴¹, 許新村²

^{1,2}
財團法人車輛研究測試中心
Email:hcc@artc.org.tw

摘要

傳統引擎車研改為電動車時，常因引擎與油箱等系統改為馬達與電池等系統造成整車重量增加及重心位置改變，而影響車輛之操控性及乘適性。本研究以CAE分析方法探討車輛重量與重心改變，對車輛操安性能(Handling)與乘適性能(Ride)的影響與底盤設計參數的對應調整方向，以作為車輛研改設計的參考。研究結果顯示重量增加及重心後移，使車輛操控性指標中的減速俯仰梯度(pitch gradient)、轉向不足梯度(understeer gradient)與側傾梯度(roll gradient)變大，以及乘適性指標中的車輛行駛上下振動(Bounce)頻率響應與後/前懸吊簧上質量振動頻率比變低，而調整彈簧剛性、防傾桿剛性及加寬輪距等底盤設計參數，可有效調整車輛的操控性與乘適性。

關鍵字：電動車,底盤,重量,操控性,乘適性

1. 前言

電動車是目前車輛產業為因應能源危機重要產品之一，各車廠皆積極發展中，為了達到與引擎車相近的續航力，目前仍須在車上安裝大量電池，然因目前電池重量仍偏重，故易造成車輛總重增加與重心位置改變。若全新開發安裝這些電池之電動車專用底盤，又必須重新設定車輛各次系統之空間配置，十分耗時且成本甚高。在電池技術未達完全成熟使電動車可成功推向市場前，在原本引擎車的架構下，安裝電動車之動力系統、控制系統、充電系統及電池，將使車輛重量增加與重心後移，使車輛的操控性與乘適性改變。因此，由傳統引擎車研改為電動車時，必須針對車輛的操控性與乘適性變化加以確認，並設法調整相關底盤設計參數，使車輛之動態性能與原本引擎車相近或更好。

基於以上原因，本研究將探討當傳統引擎車研改為電動車時，電動車因裝載大量電池造成整車重量增加及重心位置改變，對車輛操控性與乘適性的影響，並依據引擎車與所研改電動車之底盤運動性能 CAE 模擬分析比對結果，以及考量製程限制所選定之底盤設變參數可調整範圍，以 CAE 分析評估各參數之影響性後，訂定底盤設計參數的對應調整方向，以作為車輛研改設計的參考。

2. 實施方法

本研究流程如圖 1，首先選定目標車種，再依據實車評價結果設定底盤性能研改目標，於量測前後半車 K&C 數據後，採用車輛動力學分析軟體[1]建立前後半車之分析模型及 K&C 分析、測試、比對與分析模型修正。於確認分析模型正確後，再設定主要的分析工況及需比較的重要動態特性項目，再依據實車評價結果設定底盤性能研改目標，進行引擎車與電動車原況分析比較，以確認重量與重心改變的影響。再考量製程限制及所選定底盤設變參數可調整範圍，分析比較底盤設計參數調整效果，確認底盤設計參數的調整方向。

2.1 分析模型建立與K&C分析與測試比對

為了確保整車運動性能分析模型建立的正確性，先進行半車模型的建立，並與引擎車實車 K&C 測試結果進行比對，以便將分析模型調整至最接近實車的狀況。

前半車之模型如圖 2 所示，主要是由轉向系統、麥花臣懸吊系統(含彈簧、減震筒 shock absorber、jounce bumper、rebound bumper、防傾桿)和輪胎所構成。後半車之模型如圖 3 所示，主要是由葉片彈簧懸吊系統(含葉片彈簧、減震筒 shock absorber、jounce bumper)和輪胎所構成。

在前後半車分析模型建立完成之後，進行前半車和後半車的 K&C 分析，進行 K&C 分析主要的目的是要分析前半車和後半車在受到外力時，懸吊機構會產生的行為特性。在完成前半車與後半車的 K&C 分析之後，接續與 K&C 的測試結果進行比對，以確保分析模型的準確性，圖 4~圖 5 分別為前半車與後半車的 K&C 分析與測試的部份比對結果。

2.2 分析工況、動態特性比較項目及研改目標設定

整車分析模型為組合前後半車分析模型(圖 6)，執行傳統引擎車與研改電動車之 CAE 數值模擬分析，採以下 3 種主要的操控性整車分析工況作比較：

- (1) 減速：車輛由車速 60 kph 以減速 0.1g 減速度減速 6 秒。目的為量測車輛之直線減速穩態特性。比較的動態特性項目包括 Pitch gradient、前潛 Front Dive 與後舉 Rear Lift。
- (2) swept 轉向：維持車輛 60km/h 等速度，以 1deg/s 速度慢慢增加方向盤之轉角，直到方向盤轉角

為 90 度。目的為測量穩態轉向特性。比較的動態特性項目包括轉向不足梯度與側傾梯度。

- (3) 步階轉向(step steer): 車輛以 60km/h 之等速行駛, 在 0.26 秒內將方向盤轉至固定的轉角, 此轉角可使車輛產生穩態 0.4g 之側向加速度並維持約 4 秒以上。目的為量測車輛由暫態到穩態之操控轉向過程。比較的動態特性項目包括側向加速度(Lateral accel.)、橫擺率(Yaw rate)與側傾(Roll)。

與乘適性有關的特性比較項目則包括, 後懸吊與前懸吊的簧上質量振動頻率、後/前懸吊頻率比、車輛行駛上下振動(Bounce)頻率與俯仰振動(Pitch)頻率。

由於本研究已先針對引擎車進行主觀測試評價, 確認該車之操控性與乘適性符合需要, 故電動車的研改, 即以該引擎車的特性為目標。

3. 分析結果

3.1 重量與重心改變的影響

由表 1~表 5 引擎車與電動車之原況比較結果顯示, 總重增加 179kg, 其中前軸負荷增加 55kg, 後軸負荷增加 124kg, 整車的重心往後移 56mm, 使車輛操控性的減速俯仰梯度(表 1)、轉向不足梯度與側傾梯度變大(表 2), 以及乘適性的車輛行駛上下振動頻率與後/前懸吊簧上質量振動頻率比變低(表 4~表 5)。

3.2 底盤設計參數調整方向

由於車輛重量增加且重心後移, 造成車姿改變, 故首先以增加前懸吊螺旋彈簧預載(preload)及後懸吊葉片彈簧弧高, 使車姿維持與原引擎車一致[2], 並維持相近的四輪定位值。對於減速之俯仰梯度變大, 底盤設計參數調整的方向為提高前後懸吊彈簧 k 值, 可減小俯仰梯度。對於側傾梯度變大, 則以加寬輪距方式減少側傾梯度。對於轉向不足變大, 有關轉向不足之影響因素如文獻[3,4]所示, 一般重心後移會使車輛轉向不足變小, 但側傾轉向會變大, 使轉向不足變大。若原車的側傾轉向(roll steer)對轉向不足的貢獻度很高, 重心後移, 就會使車輛轉向不足變大。故在綜合考量兩因素下, 底盤設計的調整方向為, 增加前防傾桿剛性, 減少側傾轉向, 使轉向不足減小。在乘適性方面, 因簧上質量增加造成前懸吊與後懸吊簧上質量的振動頻率變低, 又因後軸重量增加較前軸多, 故後懸吊的簧上質量的振動頻率低更多, 使得後/前懸吊頻率比由 1.21 變為一般 1.1~1.3 適當範圍的下限 1.09。為使振動頻率儘可能調整與引擎車相近, 將前後懸吊彈簧 k 值及預載提高, 系統規格參數依表 6 及表 7。

3.3 底盤設計參數調整結果

將前後懸吊彈簧 k 值及預載提高、加寬輪距以及增加前防傾桿剛性之 3 項整車分析工況操安性能分

析結果如表 1~表 3, 乘適性能分析結果如表 4~表 5。分析結果顯示, 本研究的底盤設計參數調整方向可有效的提升電動車原況的操控性與乘適性:

操安性能方面: 減速工況之車輛俯仰梯度、前潛(Front Dive)及後舉(Rear Lift)量都變小, 且比原引擎車小; swept 轉向工況之側傾梯度也變小, 且比原引擎車小, 車輛轉向不足梯度變小。步階轉向工況 Yaw rate 之 Peak & Overshoot 值與 Roll Peak 值都變小, Lateral acceleration 值則差異不大。

乘適性能方面: 前懸吊與後懸吊簧上質量的振動頻率都提高, 較接近原引擎車振動頻率, 但因前懸吊的頻率較引擎車高一些, 後懸吊的較引擎車低一些, 以致後/前懸吊頻率比提升有限。車輛行駛之上下振動頻率與俯仰振動頻率也都提高, 也更接近原引擎車振動頻率。

4. 結論

傳統引擎車研改為電動車時, 因電池較重且配置位置較接近後軸, 造成前後軸之承載重量增加及重心後移, 使車輛操控性的減速俯仰梯度、轉向不足梯度與側傾梯度變大, 以及乘適性的車輛行駛上下頻率與後/前懸吊簧上質量振動頻率比變低, 對此影響, 底盤設計參數之調整方向為:

- (1) 增加前懸吊螺旋彈簧預載及後懸吊葉片彈簧弧高, 使車姿維持與原引擎車一致, 並維持相近的四輪定位值。
- (2) 加寬輪距, 以減少側傾梯度。
- (3) 增加前防傾桿剛性, 減少側傾轉向, 以減少轉向不足梯度與側傾梯度。
- (4) 增加彈簧剛性使車輛行駛上下頻率與後/前懸吊簧上質量振動頻率比儘量接近原引擎車的頻率值。

依前述底盤設計參數之調整的分析結果顯示, 可有效的提升電動車原況的操控性與乘適性, 在操安性能方面可使:

- (1) 減速工況之車輛俯仰梯度、前潛及後舉量都變小。
- (2) 增加防傾桿剛性, 減少 swept 轉向工況之側傾梯度, 轉向不足梯度變小。
- (3) 步階轉向工況 Yaw rate 之 Peak & Overshoot 值都變小。

另外, 在乘適性方面可使:

- (1) 前懸吊與後懸吊簧上質量的振動頻率都提高, 更接近原引擎車振動頻率。
- (2) 車輛行駛之上下振動頻率與俯仰振動頻率提高, 更接近原引擎車振動頻率。

5. 參考文獻

1. Altair, Motionview 10.0 User's Guide, Altair Engineering, Inc., 2010
2. 黃朝琴, "車姿對底盤運動性能之影響", 中華民國第十五屆車輛工程學術研討會, 2010年11月26日
3. Thomas D. Gillespie, Fundamentals of Vehicle Dynamics, 1992
4. Thomas D. Gillespie著, 林筱增譯, 車輛運動力學, 科技圖書, 2002

A Study of Suspension Parameters for Modifying the Vehicle Type of Gasoline Engine to Electric Motor and Batteries

Chao-Chin Huang¹, Hsin-Tsun Hsu²

^{1,2} CAE center, Automotive Research & Testing Center

Abstract

As a result of modifying a vehicle from engine to electric battery system, increase of vehicle's total weight and changing of vehicle's center of gravity (C.G.) are some typical problems usually observed, which will lead to some negative effects on the performances of ride and handling. In this paper a research based on the CAE method is presented to study the impact on the performances of ride and handling by considering the above factors, and some useful suggestions will be made for the chassis designer in order to improve the ride and handling performances. The research shows that as the weight increased and the C.G. moved backward, the understeer gradient, pitch gradient and roll gradient will get higher. The ride frequency and rear/front frequency ratio will be lower than the target value. These problems found in the analysis can be improved by adjusting the stiffness of the anti-roll bar and the spring of suspension, and increasing the track width.

Keywords: Electric vehicle, Chassis, Weight, Handling, Ride

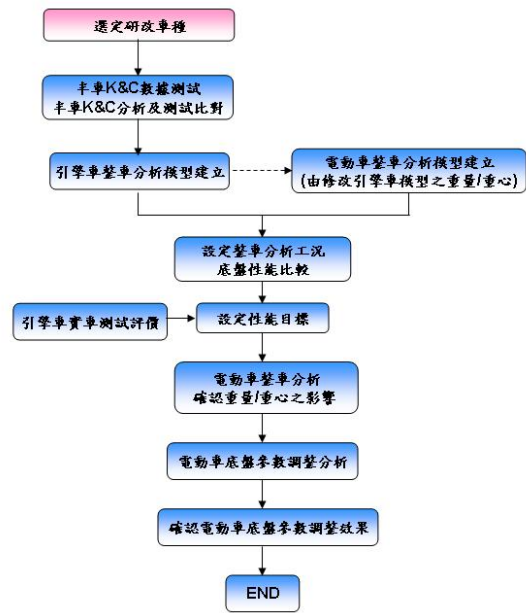


圖 1 研究流程圖

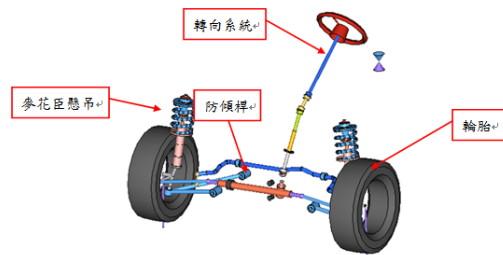


圖 2 前半車之 MBD 模型

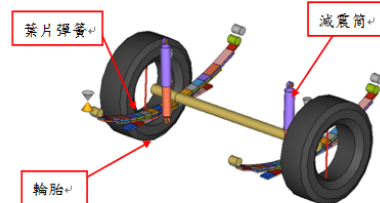


圖 3 後半車之 MBD 模型

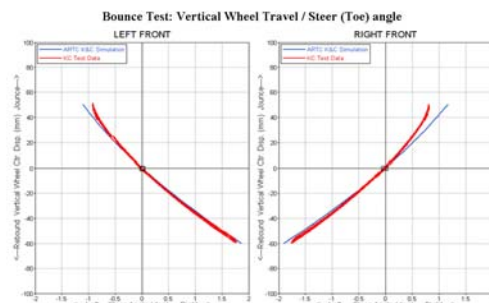


圖 4 前半車之 Toe 隨輪胎同向運動變化圖分析與試驗比對

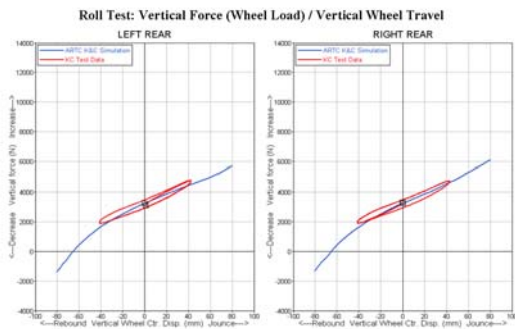


圖 5 後半車之輪心垂向位移隨輪胎受垂向力變化圖
分析與試驗比對

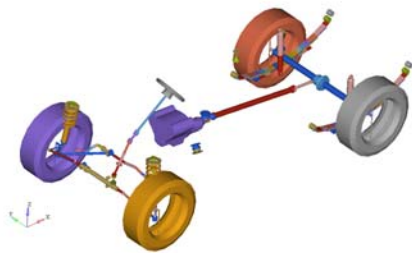


圖 6 整車 CAE 模型

表 1 減速分析

Metric	引擎車原況	電動車原況	電動車底盤參數調整
Pitch gradient(deg/g)	1.89	1.9	1.75
Front Dive(mm/g)	55.96	51.07	52.81
Rear Lift(mm/g)	29.82	34.73	26.38

表 2 swept 轉向分析

Metric	引擎車原況	電動車原況	電動車底盤參數調整
understeer gradient(deg/g)	2.58	2.91	2.78
Roll gradient(deg/g)	2.90	3.26	2.46

表 3 步階轉向分析

Item	Metric	引擎車原況	電動車原況	電動車底盤參數調整
SWA	Steady state(deg)	66.00	68.64	67.85
Lateral accel.	steady state(g)	0.40	0.40	0.40
	time to steady state(s)	0.35	0.35	0.36
	Peak(g)	0.42	0.42	0.42
	Overshoot(%)	4.48	4.52	4.67
Yaw rate	steady state (deg/s)	13.49	13.49	13.49
	time to steady state(s)	0.17	0.17	0.17

	Peak(deg/s)	15.07	15.25	15.20
	Overshoot(%)	11.74	13.01	12.66
Roll	Steady state(deg)	1.51	1.64	1.34
	time to steady state(s)	0.36	0.34	0.39
	Peak(deg)	1.59	1.72	1.41
	overshoot(%)	5.16	5.17	5.28

表 4 前懸吊與後懸吊簧上質量振動頻率

Item	引擎車原況	電動車原況	電動車底盤參數調整
前懸吊(Hz)	1.56	1.51	1.58
後懸吊(Hz)	1.89	1.65	1.74
後/前懸吊頻率比	1.21	1.09	1.10

表 5 整車上下與俯仰振動頻率

Metric	引擎車原況	電動車原況	電動車底盤參數調整
Bounce(Hz)	1.2	1.11	1.16
Pitch(Hz)	2.48	2.15	2.27

表 6 前懸吊系統底盤參數調整

Item	螺旋彈簧 coil spring	前半車車輪距加寬 16mm	前扭力桿直徑 (mm)
原況 (引擎車& 電動車)	彈簧剛性 k=2.79kg/mm; 預載=136kg;	無	D25
電動車底盤參數調整	彈簧剛性 k=3kg/mm; 預載=171kg;	有	D27

表 7 後懸吊系統底盤參數調整

Item	葉片彈簧 leaf spring	後半車車輪距加寬 16mm
原況 (引擎車& 電動車)	葉片彈簧: K1=4.94kg/mm, K2=9.13kg/mm, camber=151mm	無
電動車底盤參數調整	葉片彈簧: K1=5.84kg/mm; K2=10.1kg/mm; camber=156mm	有