

液壓混合動力系統分析載具測試與車輛應用研究
Hydraulic Hybrid Vehicle Testing and Applied Research

技術報告

CB-00-0063

委託單位：經濟部能源局
執行單位：財團法人車輛研究測試中心
計畫主持人：王傳賢
撰寫人：高實祥
執行部門：環保能源部/環能研究課
執行期間：100.04.25~100.12.31

中華民國一百年十二月三十一日

100 年度 委辦 計畫技術文件成果摘要表

計畫名稱	車輛節能應用技術研究計畫		
計畫編號	E001-EE02	委託單位	經濟部能源局
執行計畫單位	財團法人車輛研究測試中心	執行期間	100.4.25~100.12.31
計畫主持人	王傳賢	協同主持人	廖慶復
分項計畫主持人			
技術文件名稱	中文	液壓混合動力系統分析載具測試與車輛應用研究	
	英文	Hydraulic Hybrid Vehicle Testing and Applied Research	
技術文件編號	CB-00-0063		
撰寫人	高實祥	撰寫語言	<input checked="" type="checkbox"/> 中文 <input type="checkbox"/> 英文 <input type="checkbox"/> 其他
撰寫日期	100.12.23	頁數	41
報告性質	<input type="checkbox"/> 論文 <input checked="" type="checkbox"/> 技術報告 <input type="checkbox"/> 調查報告 <input type="checkbox"/> 訓練報告 <input type="checkbox"/> 其他_____		
論文發表說明	論文性質	<input type="checkbox"/> 期刊 <input type="checkbox"/> 研討會 <input type="checkbox"/> 其他	
	發表刊物名稱		
	發表國家		
	發表日期		
關鍵詞 (中英文)	液壓混合動力車(Hydraulic Hybrid Vehicle)		
	煞車能回收系統(Brake Regenerative System)		
	蓄壓器(hydraulic accumulator)		
機密等級	<input checked="" type="checkbox"/> 一般級 <input type="checkbox"/> 限閱級 <input type="checkbox"/> 機密級(<input type="checkbox"/> 五年自動解密為限閱級 <input type="checkbox"/> 不解密)		
內容摘要 <p>本工作測試 Bosch Rexroth 液壓式再生煞車系統與 Mercedes Benz Atego1524 底盤的加減速操作型態燃油經濟性。過程中以嚴苛的全油門急踩到底加速，以提供基本煞車安全性能的 0.3 g 減速，試驗得知得以節省燃油 2.6~11.3%。</p> <p>本工作蒐集應用液壓混合動力系統的限制條件，並探討發揮系統效能的評估方法，包括：確定系統設計要求、分析系統作動與主要參數、擬定液壓系統油路圖、選擇液壓元件與驗證規範、模擬、驗算液壓系統性能。實際以小型貨車為例，進行搭配國產元件的液壓混合動力車輛系統計算，並以 Simulink 軟體建立程式初步模擬系統效能。</p>			

目 錄

1. 液壓混合動力車輛簡介	5
2. 液壓混合動力系統分析載具測試	8
3. 液壓混合動力車輛應用研究	18
4. 結語	40
5. 參考文獻	41

圖 目 錄

圖 1-1 前置引擎、四輪驅動傳統車輛圖[1]	6
圖 1-2 前置引擎、四輪驅動液壓混合動力車輛圖[1]	6
圖 1-3 液壓混合動力車輛串聯系統架構圖[2]	7
圖 1-4 液壓混合動力車輛並聯系統架構圖[2]	7
圖 2-1 液壓混合動力系統與車輛載具關聯圖	8
圖 2-2 液壓式再生煞車系統圖[3]	10
圖 2-3 HRB 柱塞泵及齒輪箱組合圖[3]	10
圖 2-4 液壓混合動力車輛加減速操作圖	15
圖 2-5 MB Atego1524 安裝 HRB 之燃油經濟性試驗結果圖	17
圖 3-1 Bosch Rexroth 公司的 HRB 產品外觀圖[5]	18
圖 3-2 Bosch Rexroth 公司的 HRB 產品油路圖[5]	19
圖 3-3 HRB 系統安裝於 26 公噸之垃圾車於紐約市實測[5]	19
圖 3-4 Eaton 公司 HLA 系統產品示意與架構圖[6]	20
圖 3-5 Parker Hannifin 之 RunWise 系統圖[7]	21
圖 3-6 Parker Hannifin 與 AutoCar 公司液壓混合動力車輛圖[7]	21
圖 3-7 液壓混合動力系統動作圖	24
圖 3-8 輪胎規格意義說明圖	26
圖 3-9 車輛最終傳動減速機構介紹圖	26
圖 3-10 引擎直接帶動模式圖	28
圖 3-11 引擎高效率操作區域示意圖[9]	28
圖 3-12 由蓄壓器帶動模式圖	29
圖 3-13 同時供油給蓄壓器與馬達模式圖	32
圖 3-14 泵浦與蓄壓器同時供油模式圖	32
圖 3-15 煞車能量回收模式圖	33
圖 3-16 Simulink 虛擬的液壓混合動力系統圖	34
圖 3-17 Simulink 模擬作動時間軸圖	34
圖 3-18 能量回收效率示意圖	35

圖 3-19	串聯液壓混合動力車輛之 Simulink 模擬圖	36
圖 3-20	並聯液壓混合動力車輛之 Simulink 模擬圖	37
圖 3-21	串聯 HHV 模擬之車速與蓄壓器壓力、流量圖	37
圖 3-22	並聯 HHV 模擬之紐約市區行車型態圖	39

表 目 錄

表 2-1 MB Atego1524 規格表[3]	9
表 2-2 液壓混合動力車輛燃油經濟性試驗之試驗車重表	15
表 2-3 MB Atego1524 安裝 HRB 之燃油經濟性試驗結果表	16
表 3-1 HLA 系統規格表[6]	20

1. 液壓混合動力車輛簡介

液壓混合動力車輛(Hydraulic Hybrid Vehicle, HHV)是一種以液壓系統元件取代或輔助傳統車輛傳動系統元件的應用方式。不同型式的車輛其傳動系統元件的組合略有不同，例如常見的前置引擎、後輪驅動型式，傳動系統自飛輪，經離合器、變速箱、傳動軸、最終傳動裝置、差速器、輪軸，最後到達後輪。前置引擎、前輪驅動型式或後置引擎、後輪驅動型式，則無需傳動軸，動力僅以短的驅動軸傳到車輪上。前置引擎、四輪傳動型式的傳統車輛如圖 1-1[1]所示，對應這種形式的其中一種液壓混合動力車輛設計如圖 1-2[1]所示。明顯可看出，液壓混合動力車輛裝配有液壓泵浦馬達(hydraulic pump-motor)、蓄壓器(或稱為蓄能器, hydraulic accumulator)、控制閥組與油管等液壓元件。

液壓混合動力車輛能將車輛減速時的煞車能量回收，即是把輪胎傳動軸旋轉的能量切換到帶動液壓泵浦(hydraulic pump)工作，而產生具有能量的高壓液壓油，將此液壓油儲存在蓄壓器內，然後視車輛行進的需求與車輛能量管理策略，適時釋放出高壓液壓油，推動液壓馬達(hydraulic motor)，再帶動傳動軸使輪胎轉動。而釋放完能量的低壓液壓油，則回流到儲油槽(reservoir)，等待再次的加壓使用。在走走停停的車輛操作下，使用回收煞車能量可有效減少車輛的油耗。

液壓混合動力車輛也能夠設計直接以引擎帶動液壓泵浦產生高壓液壓油，同樣將此液壓油儲存在蓄壓器內，然後視車輛行進的需求與車輛設計的能量管理策略，適時釋放出使用。車輛因為行駛需求與道路條件，引擎的操作效率有高有低。此類液壓混合動力系統技術透過蓄壓器的緩衝，將瞬時車輛行駛需求的能量與瞬時引擎產生的能量(也包括煞車回收的能量)兩者區格開來，藉此讓引擎能夠持續操作在較佳效率的狀態下，也因此能夠得到省油的效果。

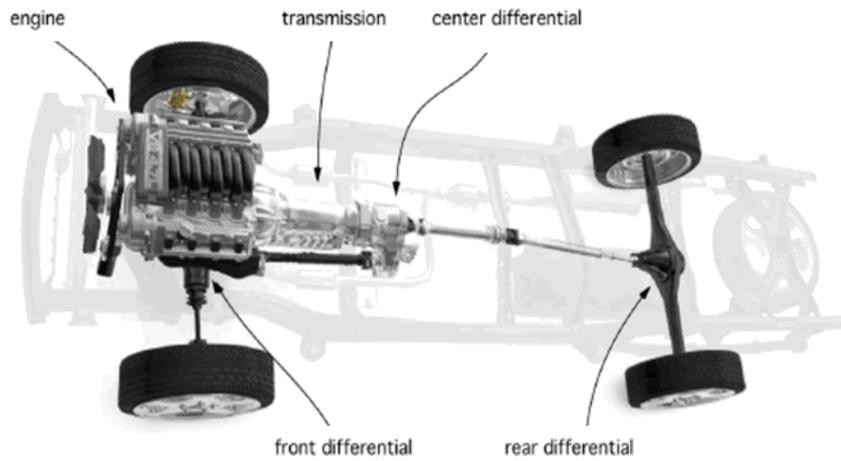


圖 1-1前置引擎、四輪驅動傳統車輛圖[1]

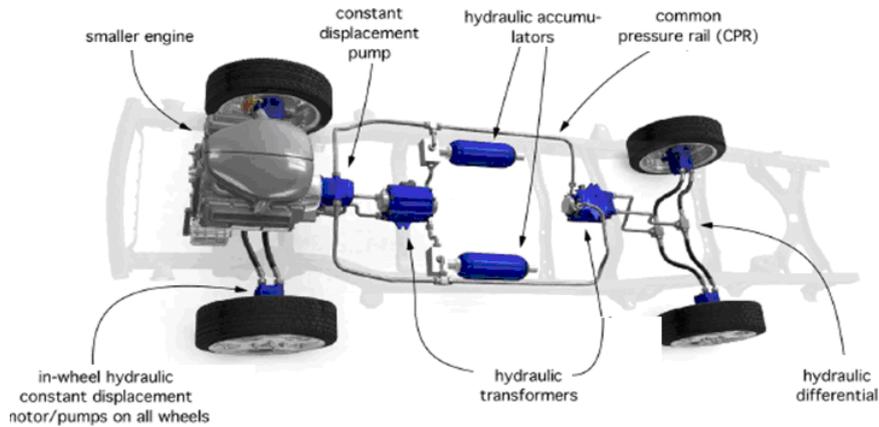


圖 1-2前置引擎、四輪驅動液壓混合動力車輛圖[1]

液壓混合動力車輛的系統架構主要可分成串聯與並聯兩類，串聯架構如圖 1-3[2]所示、並聯架構如圖 1-4[2]所示，主要差別在於並聯架構保留原本車輛傳動系統元件，主要特徵為具有主傳動軸，而讓車輛多了一種液壓傳動的方式。串聯與並聯架構的液壓混合動力產品都有煞車能量回收的功能，而串聯架構的產品更強調能夠讓引擎操作在高效率區域的功能，獲得更好的省油效果。

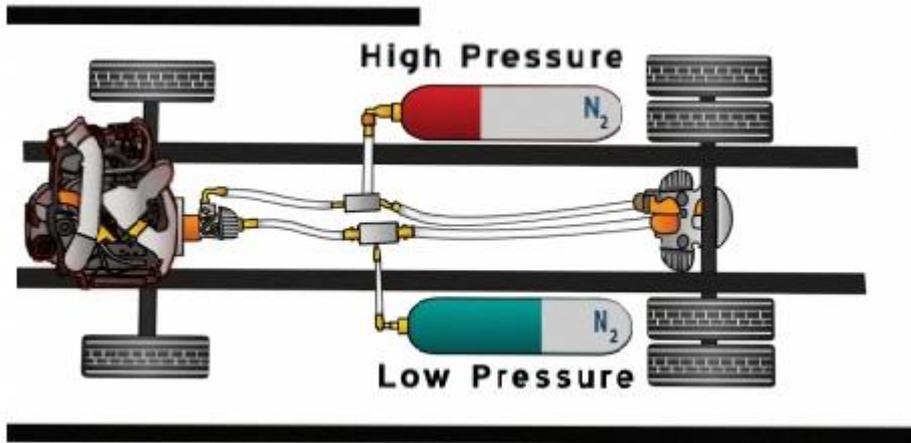


圖 1-3 液壓混合動力車輛串聯系統架構圖 [2]

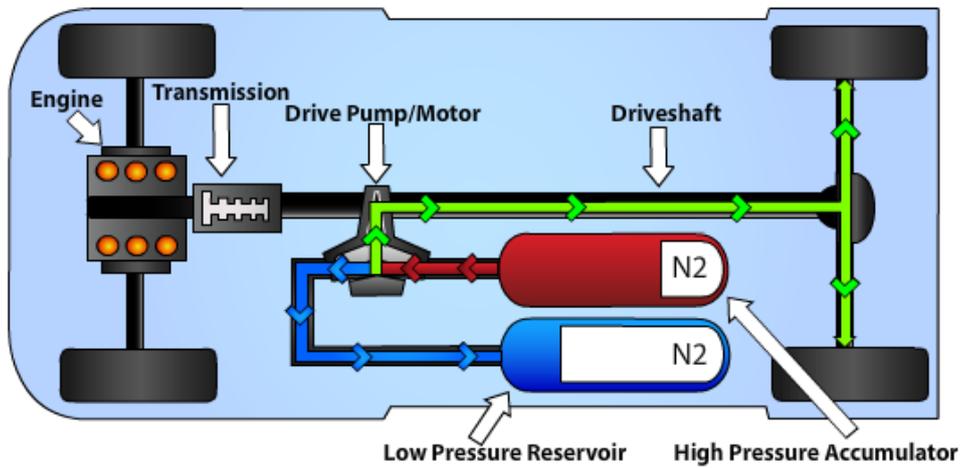


圖 1-4 液壓混合動力車輛並聯系統架構圖 [2]

2. 液壓混合動力系統分析載具測試

液壓混合動力車輛是由『液壓混合動力系統』與『車輛載具』組合而成。液壓混合動力車輛的開發以液壓混合動力系統廠商為主導，再提供產品給車輛底盤或車體廠商安裝於車輛載具上使用。液壓混合動力系統以模組套件進行銷售，限定可配合使用的指定車輛廠牌底盤。限定原因在於液壓混合動力系統涉及車輛煞車、起步、加油等控制，也就是液壓控制系統需與行車控制系統進行連線，並獲得原車輛控制的授權，兩者關聯性如圖 2-1 所示。液壓混合動力系統為了控制作動，比較適合於自動排檔款式的車輛；又為了控制溝通，比較適合於使用 CAN Bus 介面的車輛。

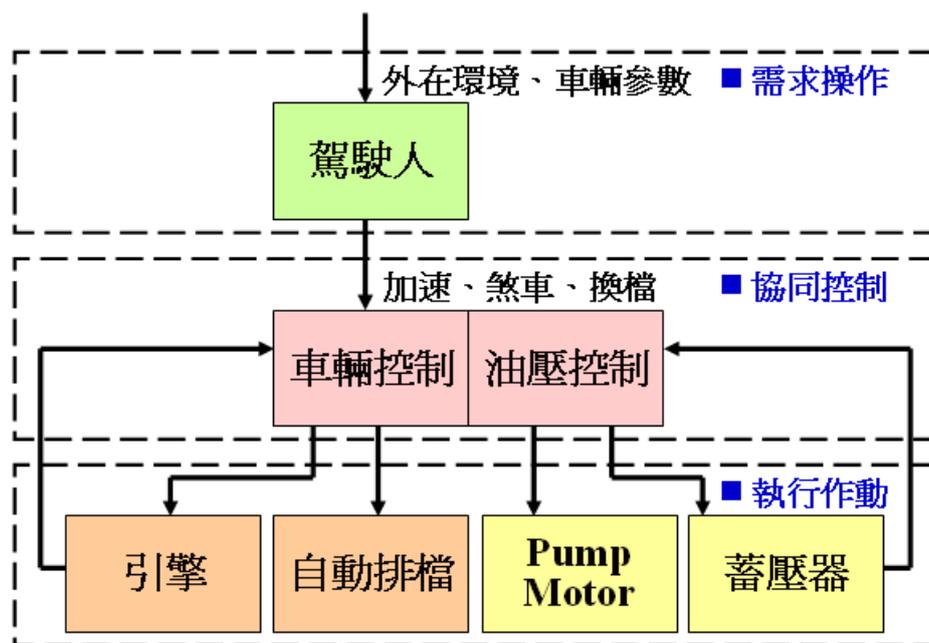


圖 2-1 液壓混合動力系統與車輛載具關聯圖

目前國內市場上歐系與美系的重型車輛相較於日系的重型車輛有較多的自動排檔款式，又歐系車輛 CAN Bus 介面相較於日系或美系車輛 CAN Bus 介面有更為完整的控制功能。國際間推廣液壓混合動力系統的廠商中，Bosch Rexroth 公司已開始於台灣進行『液壓式再生煞車系統 (Hydrostatic Regenerative Braking System, HRB)』的設計、改裝、測試等

銷售工作，並技術轉移國內大東車體企業股份有限公司負責業務與執行的工作。Bosch Rexroth 液壓式再生煞車系統於國內指定使用的車輛廠牌底盤為 Mercedes Benz Atego1524，主要規格如表 2-1[3]，本試驗工作以兩者之組合來進行。

表 2-1 MB Atego1524 規格表[3]

主要項目	規格內容
底盤(車)廠牌/型號	Mercedes Benz / Atego1524
軸距/最小迴轉半徑	4160 mm / 8.00 m
總重/排氣量	16,100 kg / 6,374 c.c.
最高速率/最大爬坡	111 km / hr / 34.0 %
馬力/轉速(k W / r p m)	175.00 / 2,200
扭力/轉速(k g - m / r p m)	86 / 1,600
主煞車型式	雙迴路全空氣式，附 ABS
變速箱型式	自動排檔，6 速

Bosch Rexroth 公司的液壓式再生煞車系統 (Hydrostatic Regenerative Braking System, HRB) 屬於液壓混合動力系統的一種，為並聯形式的車輛動力傳遞架構，如圖 2-2[3] 所示。包括一組液壓軸向柱塞泵浦馬達 (3) 與一組齒輪變速器 (2)，兩者整合為一單元。齒輪變速器由多片式離合器 (Multi-disk Clutch) 控制柱塞泵浦與車輛之動力連接。傳動軸 (1)、(5) 分別與車輛變速箱輸出端及後驅動輪組差速器連接。柱塞泵浦馬達單一元件具有兩種功能，當切換為泵浦模式時，能接收後驅動輪組所傳遞之能量，而驅動柱塞泵浦使蓄壓器 (4) 充壓貯存能量。在馬達模式下，能接收蓄壓器釋放高壓液壓油能量，而驅動柱塞馬達與齒輪變速器，提供車輛加速所需之扭力。使用過後的低壓液壓油則是儲放於液壓油貯槽 (7) 中。控制閥組 (6) 提供 HRB 系統所有液壓開關與安全控制之功能，控制閥組與離合器則由導壓閥 (14) 以液壓節能方式來驅動，導壓閥同時附有小型蓄壓器蓄積所需的控制用液壓油。

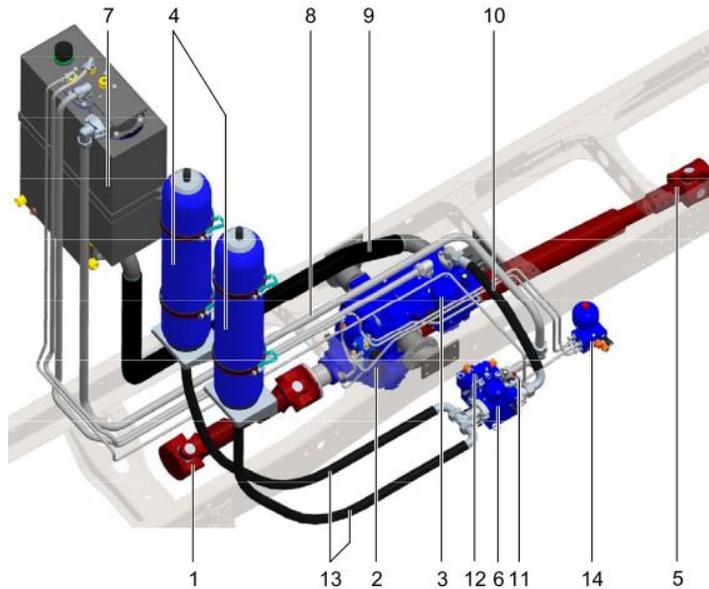


圖 2-2 液壓式再生煞車系統圖[3]

該系統關鍵元件中的可變量軸向柱塞泵浦馬達，所使用的泵浦馬達型號為 A4VSO，輸出流量 125 ccm、總重量約 200 kg，柱塞泵浦及齒輪箱組合外觀如圖 2-3[3]所示。齒輪箱輸入端以萬向接頭及傳動軸連接至變速箱，齒輪箱輸出端以萬向接頭及傳動軸連接至差速器後輪軸組，齒輪箱齒輪比(iG)為 1.52、4.1.611 與 3.21，額定轉速 2000 rpm、扭力 18,000 N-m[3]。系統配置有 2 組額定容積為 20 L 蓄壓器，重量共約 170 kg，用於儲存回收的煞車能量並再釋出利用[3]。

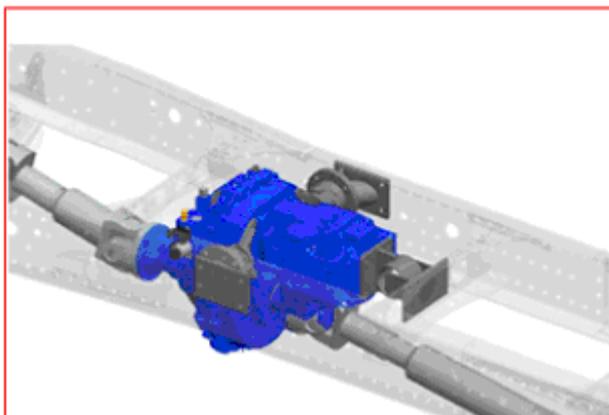


圖 2-3 HRB 柱塞泵及齒輪箱組合圖[3]

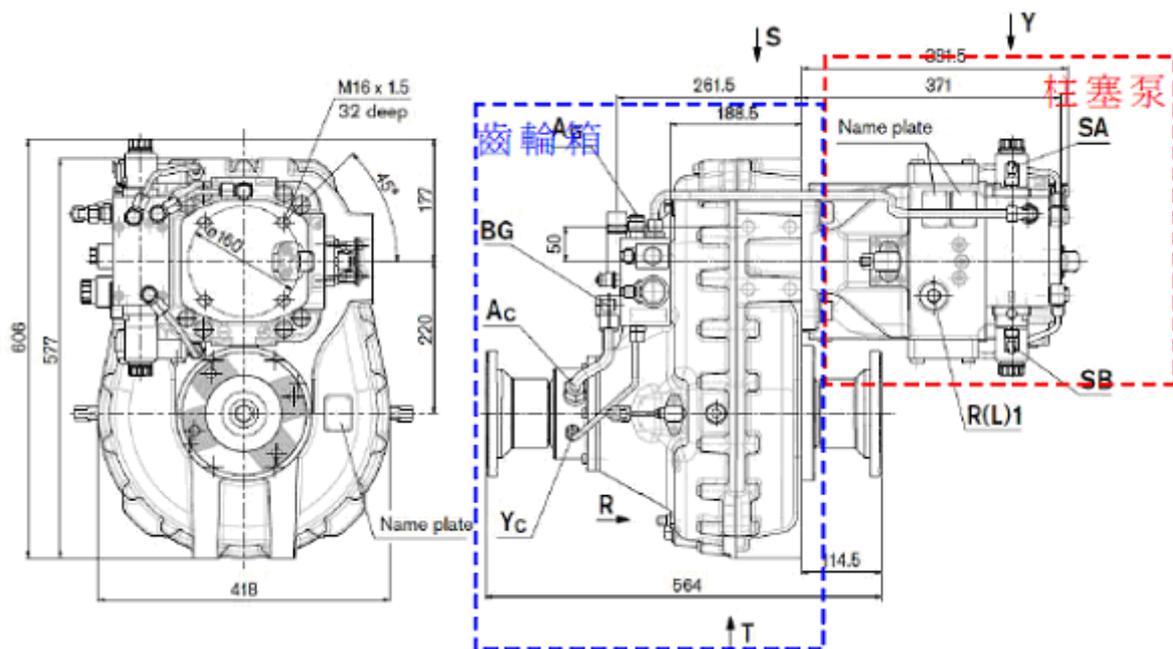


圖 2-3(續) 柱塞泵浦及齒輪箱組合圖[3]

Bosch Rexroth 公司的液壓式再生煞車系統(Hydrostatic Regenerative Braking System, HRB)可視為動力煞車系統的一種，所謂的動力煞車系統，是指駕駛人的操作力量僅用於控制某一種動力能源，而不是直接轉換成煞車作用力，當系統所使用的動力能源耗盡時，則無法再產生煞車作用力。

液壓式再生煞車系統是指將車輛減速時傳動元件旋轉的動能，切換到帶動液壓泵浦進行工作，而產生具有能量的高壓液壓油。將高壓液壓油儲存在蓄壓器內，然後視車輛行進的需求與車輛能量管理策略，適時釋出而推動液壓馬達，再帶動傳動軸、使輪胎轉動，再轉換為車輛行進的動能。釋放完能量的低壓液壓油，則回流到儲油箱，等待再次的加壓使用。由前述可，完整評估液壓式再生煞車系統，需要同時納入燃油經濟性測試與納入部分煞車測試的操作考量。

目前世界各國對於液壓式再生煞車系統，並沒有煞車法規與測試規範的要求。但從動力煞車系統的意義來看，液壓式再生煞車系統可視作動力煞車系統。也就是駕駛人的操作力量僅用於開啟液壓式再生煞車系統，由系統運轉的液壓負載造成煞車作用力，當蓄壓器內的高壓液壓油裝滿了

後，或者當儲油箱的低壓液壓油用完後，則無法再產生煞車作用力(註：當發生此狀況時，車輛減速動作將改由車輛原本的人力煞車系統或助力式煞車系統負責。)

煞車系統中，人力煞車系統所需的最大踏板力約為 445~489 N，在車輛滿載狀態(Gross Vehicle Weight, GVW)能夠產生 1.0 g 的減速度。助力式煞車系統所需的最大踏板力約為 223~334 N，能夠產生 0.9~1.0 g 的減速度 [4]。美國聯邦汽車安全標準中(FMVSS 105)規定，車輛滿載且煞車系統局部失效時，應能產生 0.3 g 的煞車效果。也就是當如果沒有其他的助力裝置輔助，單純使用人力(445 N)也需要能夠產生基本的減速效果(0.3 g)。動力煞車系統(或液壓式再生煞車系統)駕駛人的操作力量並不參與產生煞車作用力，對於所能夠產生的減速度能力 g 值，並沒有相關量化的要求，視各動力源特性而定。但是，由前述煞車系統局部失效的要求推論得知，裝置有液壓式再生煞車系統的車輛，若該系統失效或不啟動該系統的狀態，車輛也至少需要提供 0.3 g 的煞車效果(來自人力與助力煞車系統)，如此才能雙重確認符合基本的安全要求。

此外，裝置有液壓式再生煞車系統的車輛也可以參考 2010 年 11 月交通部參考歐洲煞車法規(ECE R13 及 R13H)，於『車輛安全檢測基準第 42 之 1 項 動態煞車』中新增電力式再生煞車系統相關規定。此規定要求 2011 年 7 月 1 日起之新型式電動車輛及 2013 年 7 月 1 日起之各型式電動車輛，若配備電力式再生煞車系統，其動態煞車應符合該項規定。該項規定將電力式再生煞車系統分成『不屬於常用(A 類)』煞車系統與『屬於常用(B 類)』煞車系統兩類，相關規定分為『設計符合性規範』及『煞車檢測規範』。設計符合性規範中，對配備有不屬於常用(A 類)再生煞車系統車輛的額外要求：

- 僅能由油門踏板控制及/或空檔位置作動(對於 M1 及 N1 類車輛)。
- 可由一個獨立之開關或撥桿控制(對於 M2 及總重小於 5 公噸的 N2 車輛)。

對配備有屬於常用(B類)再生煞車系統車輛的額外要求：

- 必須僅能有一個控制裝置。
- 必須不因馬達分離或檔位錯誤而有不良影響。

以及對 A 類及 B 類均額外要求：

- 必須不受電磁場影響。
- 有配備防鎖死煞車系統的車輛，必須能控制再生煞車系統。

煞車檢測規範依照不同試驗型式，對再生煞車系統進行補充規定，計有：

- 進行冷態一般性能測試(形式 O 試驗)時，不屬於常用(A類)再生煞車系統應將其功能關閉。屬於常用(B類)再生煞車系統，在測試開始時，主電池電量必須在最大充電狀態下。也就是測試過程中，車輛是在再生煞車系統的煞車力最低介入狀態下進行。(註：意指主電池電量充飽後，再生系統就不再作動、提供煞車力。對應液壓式再生煞車系統，即是指液壓蓄壓器要在最高工作壓力狀態下開始測試。)車輛原本其他的煞車裝置必須有能力在規定的要求下，將車輛安全地停下來。
- 進行連續多次煞車後的衰退性能測試(形式 I 試驗)時，不屬於常用(A類)再生煞車系統應將其功能關閉。屬於常用(B類)再生煞車系統，在測試開始時，主電池電量必須在最大充電狀態下。為了比較煞車熱性能與冷性能，兩者須以相同速度進行。
- 進行第二煞車(備用煞車)系統性能試驗時，除了原本操作的輔助力失效、部分回路失效、煞車系統零組件失效外，應額外檢查煞車輸出之電子零件全部失效、導致電子零件傳送最大煞車力之失效狀況。
- 進行抓地力係數路面之煞車行為試驗時，不屬於常用(A類)再生煞車系統必須額外抓地力係數 ≤ 0.3 之路面評估煞車穩定性，包括換檔的暫態或釋放油門不影響車輛穩定性、不允許發生車輪鎖死等。

一般車輛駕駛人直覺的減速操作是鬆開油門、引擎自然地維持惰轉，將腳移至煞車踏板上，並依減速狀況的快慢需求、深淺急緩地踩下煞車踏板。整個煞車過程，減速度並非維持一個定值，尤其是在煞車操作開始與操作結束的時候，因為人為動作、機構反應等因素，減速度會有不穩定的現象。當開啟動力煞車系統(或液壓式再生煞車系統)時，鬆開油門、引擎自然地維持惰轉，將腳移至煞車踏板上，但不踩下煞車踏板的狀況，也能夠感覺到煞車效果出現，也是一樣會有減速度頭尾不穩定的現象。對此種減速度，可用平均最佳減速度(Mean Fully Developed Deceleration)來認定，如式 2-1[4]所示。

$$MFDD = \frac{(0.8V_0)^2 - (0.1V_0)^2}{25.92(S_e - S_b)} \quad (2-1)$$

其中：

V_0 =試驗時之煞車初速度(公里/小時)。

S_b =介於 V_0 及 $0.8V_0$ 之間之行駛距離(公尺)。

S_e =介於 V_0 及 $0.1V_0$ 之間之行駛距離(公尺)。

而實際試驗中，可採取安裝車載減速度計的方式來協助駕駛進行煞車減速的操作，如此將使試驗操作條件更穩定、更具有重複性。

為了瞭解液壓混合動力車輛的省油性能，車輛中心設計在車輛安裝液壓混合動力系統之前與安裝之後的車輛狀態，分別進行車輛燃油經濟性試驗，並由數據比對來了解省油的效果。由於液壓混合動力車輛設計能夠回收煞車時的能量，因此規劃試驗時，首先針對不同的車輛載重部份進行考量，包括：空車、半載和滿載。設定試驗中空車試驗狀態，在車輛安裝液壓混合動力系統之前的車重為 10,810 kg、安裝之後的車重為 11,410 kg，兩者相差 600 kg。關於安裝前後所增加的重量，除了來自於液壓式再生煞車系統元件外，也包含固定架、防護板等物的重量，不同改裝廠商的作業設計將會有些微的重量差異。該車輛載具的最大載重限制為 16,100 kg，以其與系統安裝之前的空車重量相比較，設定全部試驗車重如表 2-2 所示。

表 2-2 液壓混合動力車輛燃油經濟性試驗之試驗車重表

車重試驗狀態	液壓混合動力系統 安裝之前			液壓混合動力系統 安裝之後		
	車重(配重) [kg]	試驗設備 及 人員重[kg]	合計重量 [kg]	車重(配重) [kg]	試驗設備 及 人員重[kg]	合計重量 [kg]
空車	10,710	100	10,810	11,310	100	11,410
半載	13,405	100	13,505	13,705	100	13,805
滿載	16,000	100	16,100	16,000	100	16,100

液壓混合動力車輛試驗中操作速度部份，參考都會區域車輛操作速度，設定分別進行目標速度為 20、35 與 50 km/hr 的加速、煞車至停止試驗。此加減速實驗是指車輛由停止加速至目標速度，然後由目標速度減速至車輛停止狀態，操作情況說明如圖 2-4 所示，其中的 0.3 g 減速度驗證車輛能提供基本的安全煞車性能要求，且不影響原車輛制動裝置的動作。反覆地依圖 2-4 讓車輛穩定地操作於停止狀態與目標速度之間共 15 次，並量取油耗、行駛里程資料，計算燃油經濟性平均結果。

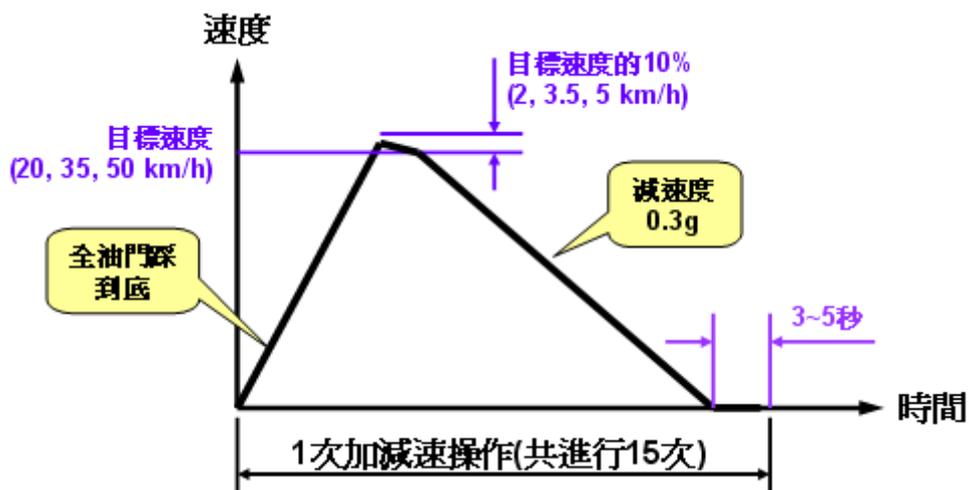


圖 2-4 液壓混合動力車輛加減速操作圖

試驗結果整理如表 2-3 所示，顯示液壓混合動力車省油量為 0.04~0.16 km/L、省油效果為 2.6~11.3 %，其中以車輛滿載操作於 0~35 km/hr 的情況為最佳。此部份比較的差異，除了有無使用液壓式再生煞車系統，也包含了增加車重的影響。而增加車重會增加油耗，因而會抵銷了煞車能量回收的省油效果。將試驗結果，以不同載重表示如圖 2-5 所示，此處可明顯看出使用液壓混合動力系統(粉紅色線條)相較於原車輛動力情況(深藍色線條)，在各種車重與操作速度條件下均能夠獲得省油效果。

原車輛動力情況(深藍色線條)於不同載重、不同操作速度情況的燃油經濟性或有高低，其原因需要納入試驗車輛的 6 速自動排檔變速箱處於不同檔位的影響。此高低差異並不影響說明液壓混合動力系統具有省油能力，但對於相對的省油效果之數值大小會有影響。舉例說明，某狀態使用液壓混合動力系統每公升燃油能夠多行駛 0.16 公里，若此狀態的燃油經濟性由每公升燃油行駛 1.42 公里變化到每公升燃油行駛 1.55 公里，則省油效果將由 11.3% 變化到 10.3%，也就是用於比較的基準值數值大小會影響計算省油效果相對比率的數值大小。此基準值在實驗進行係定應於加速時油門踩法，一般而言急踩油門會比徐徐踩油門更為耗油，也就是基準值 (km/L) 較大、省油效果會較小，是一種標準從嚴的測試方式。

表 2-3 MB Atego1524 安裝 HRB 之燃油經濟性試驗結果表

		加減速的目標速度		
		50 km/hr	35 km/hr	20 km/hr
空車(10 ton)	HRB off	1.64	1.55	1.42
	HRB on	1.73	1.68	1.54
半載(13.5 ton)	HRB off	1.54	1.49	1.47
	HRB on	1.58	1.62	1.53
滿載(16.1 ton)	HRB off	1.53	1.42	1.23
	HRB on	1.64	1.58	1.28

單位：km/L

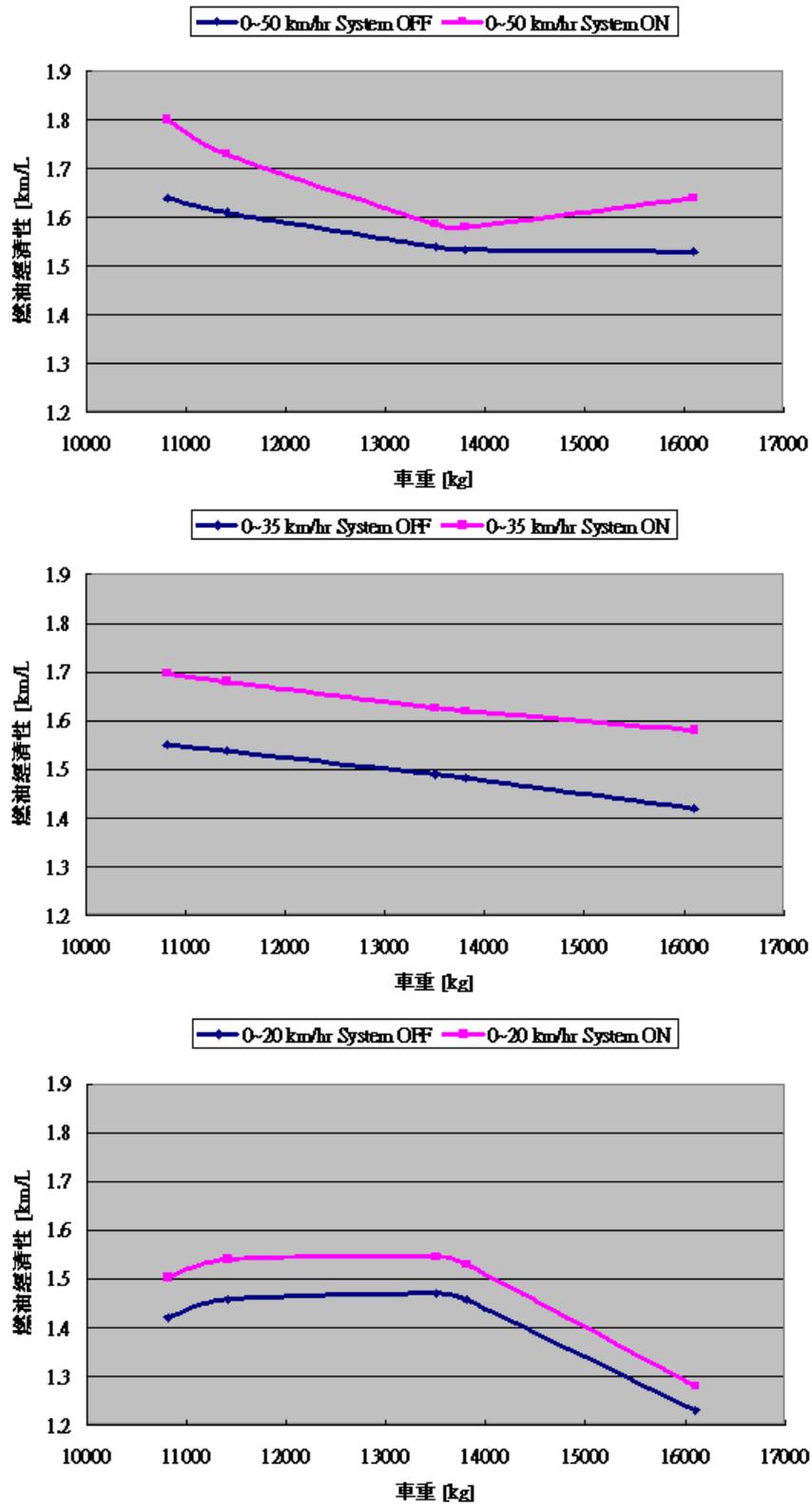


圖 2-5 MB Atego1524 安裝 HRB 之燃油經濟性試驗結果圖

3. 液壓混合動力車輛應用研究

目前國內外推廣液壓混合動力系統的廠商與其產品，主要有：Bosch Rexroth 公司的 Hydrostatic Regenerative Braking System™、Eaton 公司的 Hydraulic Launch Assist™、Parker Hannifin 公司的 RunWise™ 等。

Bosch Rexroth 公司的 HRB 系統為並聯架構如圖 3-1[5]、圖 3-2[5]所示，產品搭配應用於 Mercedes Benz、CRANE CARRIER、MAN 等公司的近期車輛或底盤，目前已於美國(如圖 3-3[5]所示)與歐洲各地銷售，客戶以環保車隊的使用為主，例如：

- 美國之 New York
- 奧地利之 Vienna
- 德國之 Kiel、Mölln、Salzgitter、Castrop-Rauxel、Kassel、Wiesbaden、Münnerstadt、Schweinfurt、Würzburg
- 法國之 Nantes

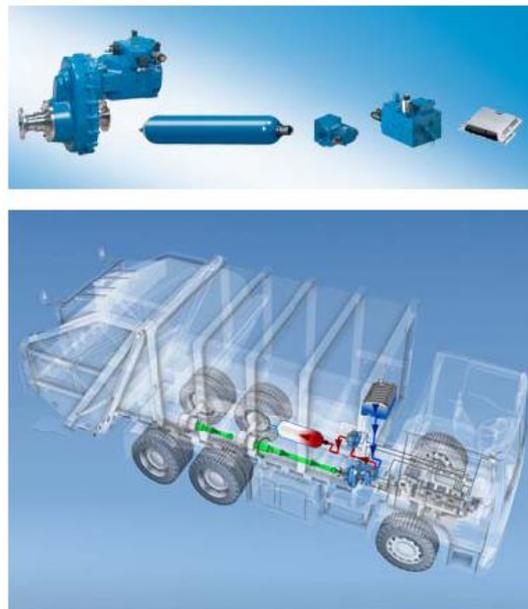


圖 3-1 Bosch Rexroth 公司的 HRB 產品外觀圖[5]

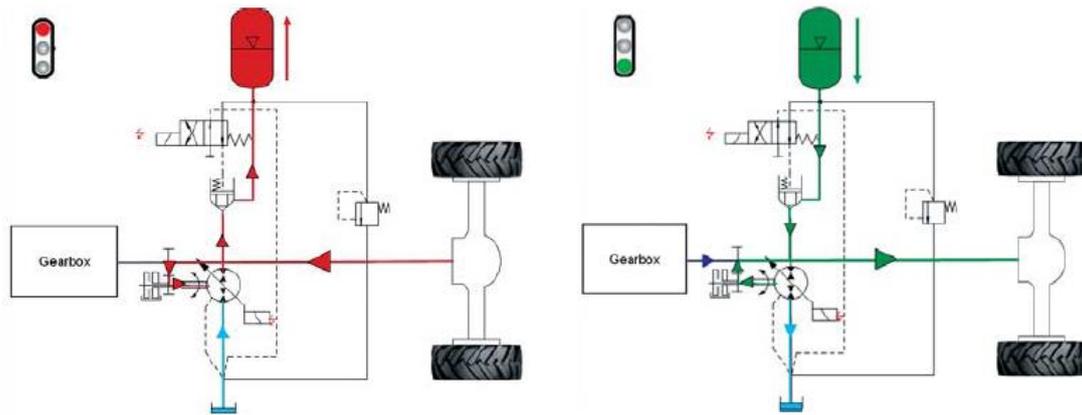


圖 3-2 Bosch Rexroth 公司的 HRB 產品油路圖[5]



圖 3-3 HRB 系統安裝於 26 公噸之垃圾車於紐約市實測[5]

Eaton 公司為國際知名的混合動力系統廠商，自 90 年代開始投入混合動力系統研究，目前液壓混合動力系統上市的產品為 Hydraulic Launch Assist (HLA)，如圖 3-4[6]所示。該液壓混合動力系統亦為一並聯式系統，可回收使用約 70% 的車輛煞車動能，節省燃料消耗約 15~30%，使用者約可在 2 到 3 年內回收成本[6]。HLA 系統之規格如表 3-1[6]所示，系統重量約 750 公斤，產品訴求適用於車輛總重在 26 噸以上的車輛。

2010 年 8 月美國車輛製造商 Peterbilt 所推出的 Model 320 液壓混合動力車款(搭載 Eaton 公司的 HLA 系統)開始在美國密西根州 Ann Arbor 市作為資源回收車(recycling trucks, 63,000 lb)使用。該示範運行共計 4 輛液壓混合動力車輛(每輛約 30 萬美元)，是在美國能源部 Clean City 計畫下提供 12 萬美元支持，測試車每天使用走停 1,200 次，運行結果可節省 30% 的燃

料費用(約 1000 加侖)。Ann Arbor 市的財務分析人員 Tom Gibbons 表示，該市為了節能減碳而使用節能車輛，為此將可以接受車輛增加 20% 的車價 [6]。

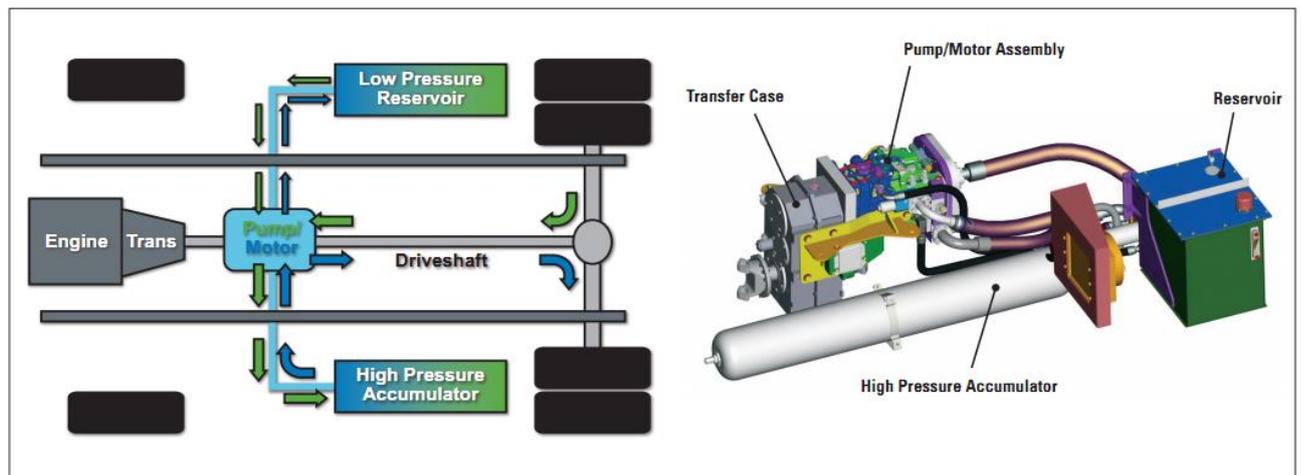


圖 3-4 Eaton 公司 HLA 系統產品示意與架構圖 [6]

表 3-1 HLA 系統規格表 [6]

項目名稱	規格內容
HLA 系統總重	1650 lb
最大液壓力	5000 psi
液壓油體總量	21 gallons
輸出扭力	2550 ft-lbs
啟動 HLA 系統時車速限制	25 mph 以下
適用車輛的最小軸距	191" (single) 215" (tandem)

Parker Hannifin 為國際知名液壓系統與元件大廠，該公司在 1982 年提出並聯架構的液壓混合動力系統，稱為 Cumulo Brake Drive。在 1991 年提出串聯架構的液壓混合動力系統，稱為 Cumulo Hydrostatic Drive。目前液壓混合動力系統上市的產品為 RunWise 系統，如圖 3-5 [7] 所示。該系統為串聯架構，在市區道路提供兩個段速的設計(低速 0~25 mph 與高速 26~45 mph)，若是在高速公路的情況(46~60+ mph)則結合引擎與整合設計的變速箱驅動車輛，同樣也可獲得良好的省油效果 [7]。Parker 公司與 AutoCar 公

司合作，將 RunWise 系統應用在垃圾車上，如圖 3-6[7]所示。2008 年 9 月該款車輛於德州進行示範運行，每天走停 1200 次、可獲得 27%的省油效果[8]。2009 年 5 月該款車輛於南佛羅里達州的 Miami、Hialeah 及 Miami-Dade 等地進行示範運行，每天走停 700~1100 次、可獲得 42%的省油效果[8]。2009 年 8 月該款車輛於內華達州進行示範運行，在極端酷熱的環境下，還可以獲得 34%的省油效果[8]。2010 年 3 月該款車輛於密西根州進行示範運行，根據車輛載重與行駛路線資料調整控制系統，省油效果可由 38%提升至 45%[8]。2011 年 FedEx 公司與 Coca-Cola 公司宣佈，在其貨運車輛上採用 RunWise 系統進行示範運行，其中 Coca-Cola 公司為美國使用最多混合動力車輛的公司。



圖 3-5 Parker Hannifin 之 RunWise 系統圖[7]



圖 3-6 Parker Hannifin 與 AutoCar 公司液壓混合動力車輛圖[7]

針對目前上市的液壓混合動力系統產品，整理適合液壓混合動力系統應用的車輛條件與應用限制如下：

- 適合車輛總重較重的車輛，約為 26,000 磅以上。
- 適合車輛經常走走停停的操作使用，約為每天 700 次以上。
- 使用 CAN Bus 控制介面的車輛。
- 因介入煞車、加油起步等車輛控制(含訊號的使用)，須獲得車廠授權。
- 適合自動排檔款式的車輛，將增加車重 600~750 公斤。
- 適合安裝於貨車及一般客運車輛，因為有更多的空間。(低底盤公車需配合特殊工程設計。)
- 駕駛人員須改變減速後立即踩煞車踏板的操作習慣，來獲得省油效果。

符合以上要求的車輛底盤目前在國內市場上並不多見，然而又需要能夠搭配車輛使用於市區走走停停操作型態時則更是少見。因此現階段液壓混合動力車輛的適用載重宜往下調降，例如：市區宅配的 7 噸小貨車或市區運輸的 12 噸公車。又目前液壓混合動力系統產品僅針對煞車能量回收功能，因此發展混合動力系統的引擎節能區域操作功能，也是值得採行的方向之一。除了上述發展新的產品類型之外，令另一項工作是確定液壓混合動力系統的效能已有良好的發揮，以下將對此進行探討。

液壓混合動力車輛的效能決定於所使用的各項液壓元件效能，與各項液壓元件間相互匹配、控制與作動關係。

評估液壓系統有幾個步驟，包括：

- 確定系統設計要求
- 分析系統作動與主要參數
- 擬定液壓系統油路圖
- 選擇液壓元件與驗證規範
- 模擬、驗算液壓系統性能

上述的設計步驟是相互關聯的，常常是互相穿插進行，並經過反復修改，才能逐步完成。液壓混合動力車輛上所使用的液壓元件，屬於行走機械範疇中的一種整體，具有較為特殊的要求(如：動力來源、重量、噪音、可靠度與維護等。)，因此對於效能評估，除了液壓領域的評估外，亦需要考量車用的方向來進行。

在評估液壓元件效能前，首先要對於液壓混合動力車輛的工作情況進行了解與分析，才能明確的對液壓元件提出要求。液壓混合動力車輛能將車輛減速時的煞車能量回收，把車輛減速時傳動軸旋轉的動能，切換到帶動液壓泵浦工作，而產生高壓液壓油。將高壓液壓油儲存在蓄壓器內，然後視車輛行進的需求與車輛能量管理策略，適時釋出而推動液壓馬達，再帶動傳動軸、使輪胎轉動。釋放完能量的低壓液壓油，則回流到儲油槽，等待再次的加壓使用。液壓混合動力車輛也能夠設計以引擎帶動液壓泵浦產生高壓液壓油，同樣將此液壓油儲存在蓄壓器內，然後適時釋出使用。車輛因為行駛需求與道路條件，引擎操作點的效率常有高有低。液壓混合動力系統將瞬時車輛行駛需求的能量與瞬時引擎產生的能量(也包括煞車回收的能量)兩者區格開來，藉此讓引擎能夠持續操作在較佳效率的狀態下，因此能夠得到省油的效果。

將液壓混合動力系統的動作，表示如圖 3-7。第 1 種模式是直接由引擎運作所產生的能量帶動液壓泵浦，液壓泵浦產生高壓液壓油之後，隨即送至液壓馬達使用，經由傳動軸帶動輪胎轉動。液壓泵浦的工作設定於產生最高效率的額定壓力與流量附近，由可變量液壓馬達控制流量，也就是改變車速。此種型態，需考量：

- 泵浦與引擎的關係處於高效率區域。
- 是否能單獨產生足夠的扭力、產生需求的速度。
- 需納入車重考量後，相較於原車輛傳動架構，是否仍具有效益。

若需求的車速減小，第 1 種模式可轉入第 3 種模式，第 3 種模式是維持液壓泵浦與引擎的關係處於高效率區域(區域中轉速較低的操作點)，將液壓

馬達所使用的液壓油之外的液壓油轉存入蓄壓器。若車速再持續降低，此時液壓馬達所使用的液壓油油量持續減少，又液壓泵浦與引擎的關係離開高效率的區域，這個時候系統轉至第2種操作模式，也就是單獨由蓄壓器提供液壓馬達運轉所需的液壓油，直到蓄壓器內的油量或壓力降至所設定的最小值。

車輛合理的減速操作，有屬於不需要踩油門(鬆開油門)的減速操作，也有屬於需要踩煞車的減速操作，兩者的差異在於減速的快慢，也就是減速度數值的大小。(註：車輛測試中減速度常以有多少個g值來表示， $1g = 9.81 \text{ m/s}^2$ 。)車輛減速操作時，液壓混合動力系統的動作進入了第5種模式，也就是煞車能量回收模式。車輛在走走停停的使用方式下，回收煞車能量，可以獲得將引擎落於高效率操作區之外的明顯節省燃油效果。

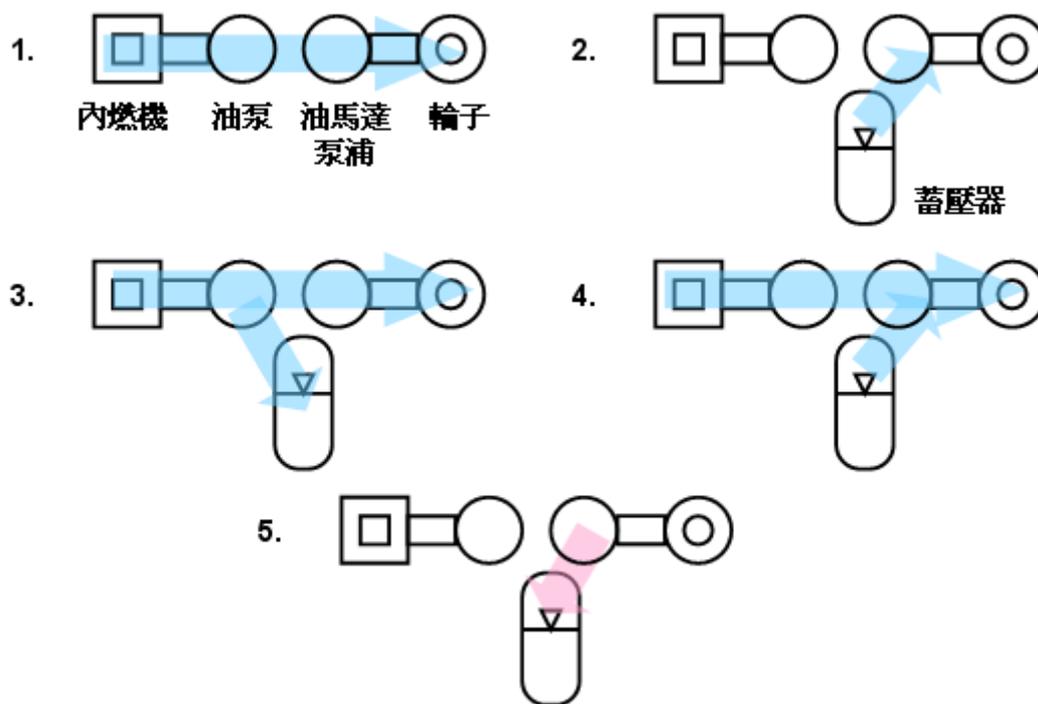


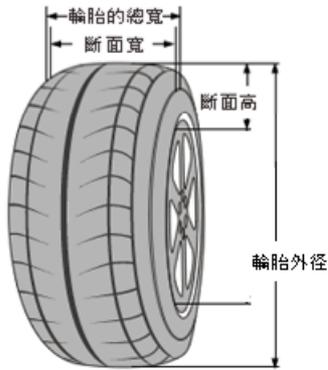
圖 3-7 液壓混合動力系統動作圖

液壓混合動力系統作動的參數，即是液壓元件作動的主要參數。車輛上的傳動，以常見的前置引擎、後輪驅動型式為例，傳動系統自引擎飛輪，經離合器、變速箱、傳動軸、最終傳動裝置、差速器、輪軸，最後到

達後輪。以國內重型車輛數目最多的三菱 Fuso All New Canter 3.5 柴油貨車的規格為例，其輪胎規格為『195/75R16』，此規格的第 1 個數字為斷面寬、第 2 個數字為扁平率、第 3 個數字是鋼圈直徑，如圖 3-8 所示，因此可計算得知輪胎的實際總高度(直徑)為 698.9 mm、輪圓週長為 2196 mm。又車輛最終傳動的齒比為『4.875』，最終傳動為一種減速機構，如圖 3-9 所示。以油昇油壓股份有限公司的可變量軸向柱塞馬達 PV071 為例，其最高轉速為 2100 rpm。當液壓馬達(指液壓泵浦馬達元件，操作為液壓馬達的功能。)到傳動軸之間沒有增速的聯結設計，則傳動軸最高轉速同樣為 2100 rpm，傳動到輪軸時的轉速為 430.8 rpm，則每小時輪胎的滾動距離，亦即最大車速為 56.7 km/hr(暫時不考慮滑動等的因素影響)。若為了提高車速，則需要在液壓馬達端裝置大齒輪、傳動軸端裝置小齒輪，假設有 2 倍的增速關係，則最大車速可達 113.5 km/hr(暫時不考慮最大扭力或功率等的因素影響)。當進入煞車能量回收模式時，傳動是由傳動軸到液壓泵浦(指液壓泵浦馬達元件，操作為液壓泵浦的功能。)，如果仍然是維持傳動軸端裝置小齒輪、液壓泵浦端裝置大齒輪的相同關係，則此時轉成 2 倍的減速關係。當車速逐漸下降同時、液壓泵浦的轉速將加倍降低，而長期處於低轉速區域。以車速操作於 10~40 km/hr 為例，則液壓泵浦僅操作於 185~740 rpm 的工作轉速。一般而言，低轉速區域的泵浦操作並無法擁有較高的效率，因此可能需要搭配使用變傳動方向時變轉速的機構。上述計算例子是以國內廠牌為例進行進算，目前國際流體傳動大廠液壓泵浦馬達產品的能力最高轉速可達 4000~5000 rpm，可協助解決最大車速的問題，對此將有助於展現液壓混合動力車輛的效能。

輪胎的規格標示

輪胎規格的標示方法如下



輪胎規格表示方法									
185/60R14 82H					235/45ZR17				
①	②	③	④	⑤	⑥	①	②	⑦	④
165SR13					31X10.50R156PR				
①	⑥	③	④	⑥	⑧	③	④	⑩	
145R126PR					135/95R1075/73LLV-6				
①	③	④	⑩	①	②	③	④	⑤	⑥
7.50R16 12PR					5.50-136PR				
⑨	③	④	⑩	⑨	④	⑩			
1. 輪胎寬度稱呼			2. 扁平率(%)			3. 徑向層構造			
4. 鋁、鋼圈直徑(吋)			5. 荷重指數			6. 速度記號標示			
7. 速度範圍			8. 輪胎的外徑(吋)			9. 輪胎寬度(吋)			
10. 輪胎的強度(層數標示)									

▶ 扁平率

扁平率即輪胎高度對於輪胎寬度的比率值。扁平率相同的輪胎可以系列別稱之(如65系列)

$$\text{扁平率}(\%) = \frac{H(\text{断面高度})}{W(\text{断面寬度})} \times 100$$

▶ 断面寬

断面寬即輪胎胎面不含輪胎側面文字的寬度，輪胎規格標示中的胎面寬即是断面寬。鋼圈保護高度亦不包含於断面寬之中。

圖 3-8 輪胎規格意義說明圖

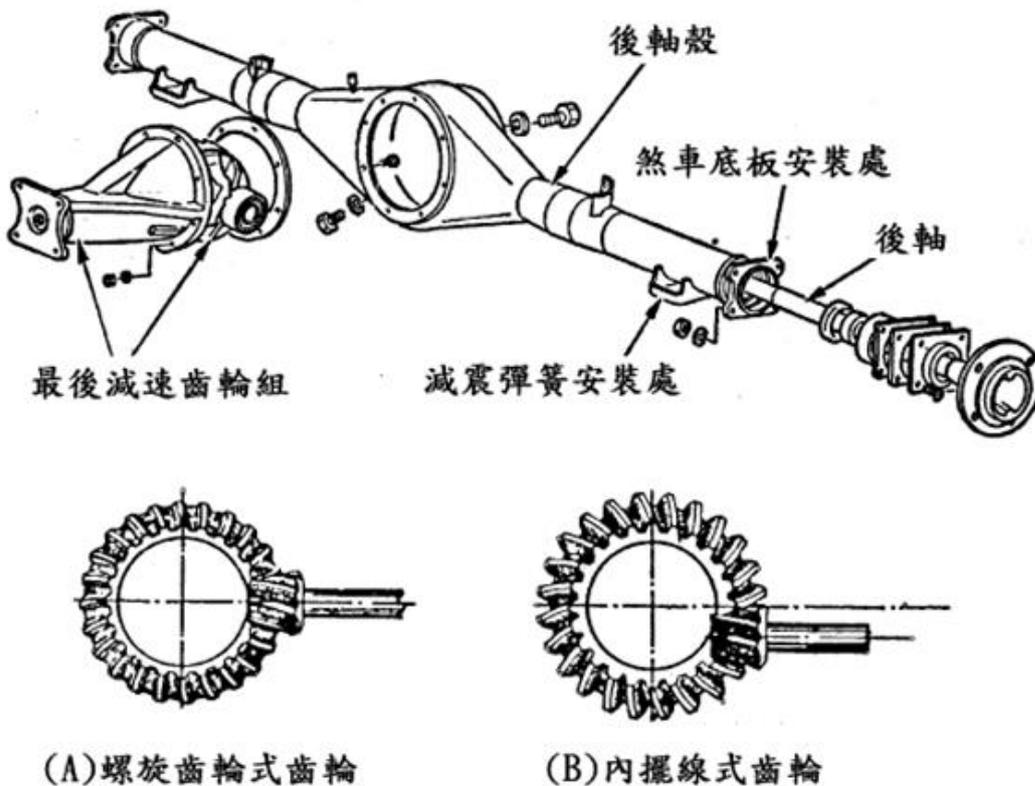


圖 3-9 車輛最終傳動減速機構介紹圖

由液壓系統的作動需求來擬定液壓系統油路圖，第1種直接帶動模式說明如圖3-10所示，低壓儲油箱的油量須足夠循環使用，意思是指循環後液壓油的溫度能夠不增加，且徐徐地流動、能過濾雜質不捲入氣泡等基本要求。低壓油箱可設置油位警告或油溫警告裝置，並且參考車輛油箱設計，減少油平面的擾動與激盪。在第1種直接帶動模式下，液壓泵浦的選擇主要考慮與引擎輸出功率、操作轉速與效率的相互結合，同時須能夠符合車輛設計的需求。以三菱Fuso All New Canter 3.5柴油貨車的規格為例，其輸出最大馬力為95 kW @ 3200 rpm、最大扭矩為304 N-m @1700 rpm，除了此揭露的規格性能外，引擎於不同的轉速、不同的油門開度操作下，會有不同的效率變化，一般柴油引擎效率趨勢如圖3-11[9]所示。若設定一高效率區域，如圖3-11[9]的左上灰色區域，此區域扭力低於最大扭矩，但須能符合帶動液壓泵浦的需求，以油昇油壓股份有限公司的可變量軸向柱塞馬達PV071為例，其所需輸入馬力為70 kW@1500 rpm、80 kW@1800 rpm，引擎馬力足以提供液壓泵浦使用，但是在引擎端到液壓泵浦端之間仍需設置一組減速的齒比機構，因為對於引擎本身的特性，以及對於液壓泵浦本身的特性並沒有進行調整或改變，所以兩者間須相互匹配，控制於兩者整體能產生較高的效率。

如圖3-11[9]所示，引擎高效率操作區間往往會落於較低引擎轉速、較大油門開度的地方。對於液壓泵浦而言，變流量的操作將同時考量內部斜板角度、以及輸入軸的轉速，兩者組合以趨於液壓泵浦高效率區域為考量的條件。如前系統設計的模式使用說明，當車速降低，液壓泵浦提供液壓油油量給液壓馬達使用所需，以及存入蓄壓器所需；若車速再持續降低，此時整體所需液壓油油量持續減少，又液壓泵浦與引擎的關係離開高效率的區域，這個時候系統轉單獨由蓄壓器提供液壓馬達運轉所需的液壓油。然而，在這兩種模式之間的操作狀態仍有不少變化，引擎操作是控制在轉速與油門開度組合於高效率區域，此時的轉速若因減速機構固定齒比的因素，又需要配合液壓泵浦的使用而進行限制；此外，轉速與油門開度的組

合，又將產生不同的輸出功率，此功率提供液壓泵浦使用，此即為足供以使用之外的相互匹配考量。

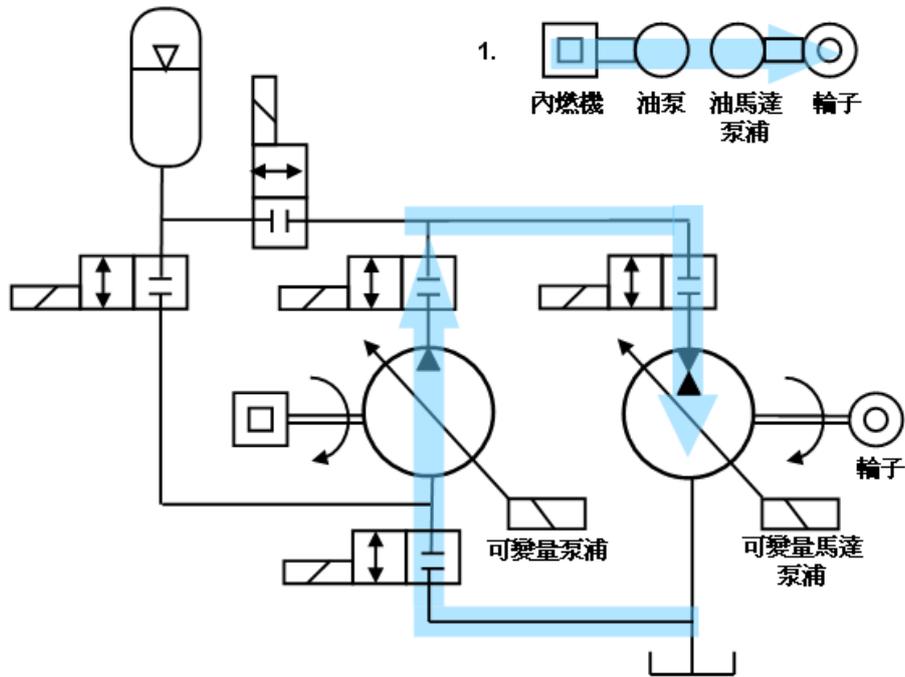


圖 3-10 引擎直接帶動模式圖

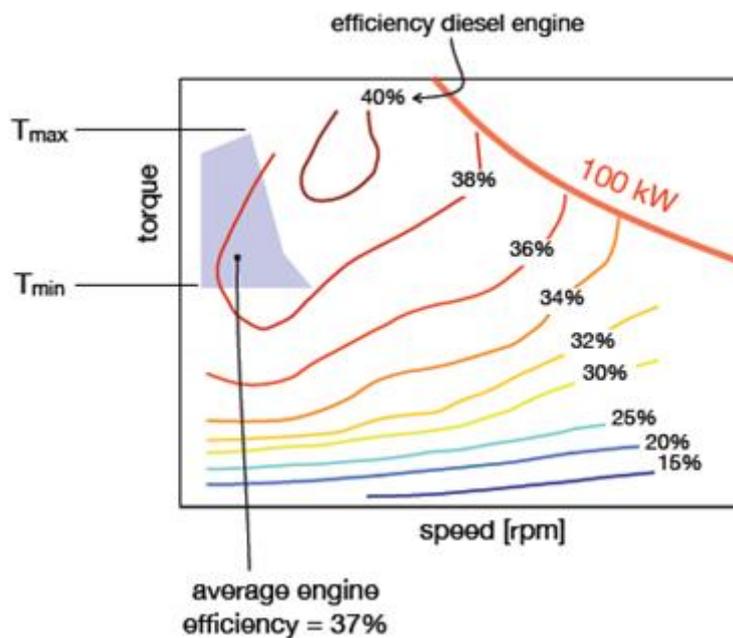


圖 3-11 引擎高效率操作區域示意圖 [9]

關於液壓系統作動需求的第2種由蓄壓器帶動模式，擬定液壓系統油路圖如圖3-12所示。此時引擎可處於惰轉狀態，但並不建議採取引擎熄火的方式。因為引擎仍然需要負擔其他動力來源的負載，尤其是涉及轉向、煞車等的安全方面動力來源，所以引擎仍然需要受到原車輛ECU的控制，在有負載需求時會增加引擎轉速來滿足需求。

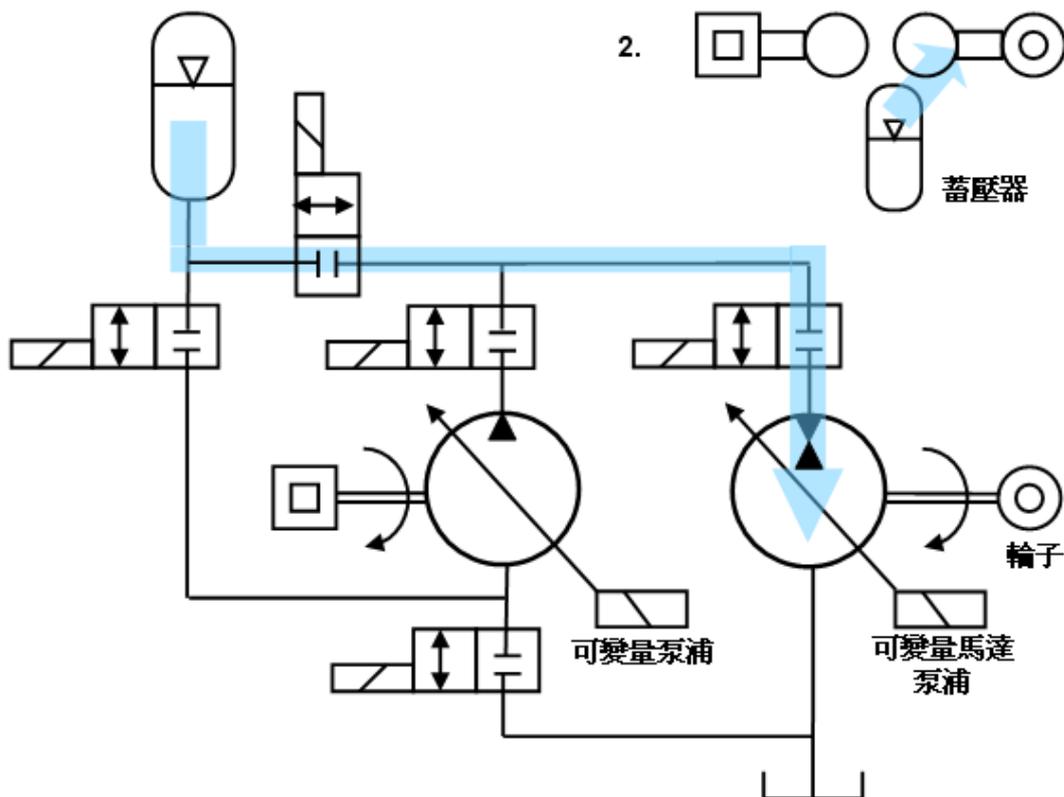


圖 3-12 由蓄壓器帶動模式圖

第2種模式能夠持續進行的時間長短與蓄壓器的容量、液壓馬達的液壓油使用量有關。液壓混合動力車輛中所使用的蓄壓器主要為皮囊式蓄壓器與活塞式蓄壓器兩種。當高壓液壓油流入蓄壓器時會壓縮蓄壓器內皮囊裡的氣體、產生變形，而增加儲存液壓油的容積；當高壓液壓油流出時皮囊會膨脹，此時輸出的液壓油能保有輸出壓力。蓄壓器在注入液壓油之前，皮囊裡會預充不可燃的氮氣，形成一預充皮囊容積，其對應於皮囊預充氮氣壓力(p_0)。注入液壓油後，蓄壓器反覆操作於最大工作壓力(p_2)與最

小工作壓力(p_1)之間，此操作基於保護皮囊、延長使用壽命，台灣賀德克技術有限公司建議採取如式 3-1 與式 3-2 的關係。

$$p_2 : p_0 \leq 4 : 1 \quad (3-1)$$

$$p_0 \leq 0.9 p_1 \quad (3-2)$$

若蓄壓器最大工作壓力(p_2)為 330 bar，則預充氮氣壓力可為 82.5 bar、最小工作壓力可為 91.7 bar。(註：廠商建議的關係式可以有不同的使用狀態來對應、符合，例如 $p_2=300$ bar、 $p_1=100$ bar、 $p_0=75$ bar，前述計算採取極限值狀態。)若採公稱尺寸為 20 公升皮囊式蓄壓器，由廠商型錄資料可知蓄壓器有效氣體體積(Effective gas volume)為 18.4 公升，有效氣體體積(V_0)指的是對應於預充氣體壓力時的皮囊內氣體體積，蓄壓器工作時的氣體壓縮可由熱力學原理可知狀態關係，如式 3-3 所示；蓄壓器內儲存的液壓油容量為蓄壓器的有效容積(Effective volume)，關係如式 3-4 所示。其中， n 為氣體變化指數，當變化為可逆絕熱壓縮時 $n=1.4$ 。

$$p_0 V_0^n = p_1 V_1^n = p_2 V_2^n = p V^n = const. \quad (3-3)$$

$$\Delta V = V_1 - V_2 = V_0 \left[\left(\frac{p_0}{p_1} \right)^{\frac{1}{n}} - \left(\frac{p_0}{p_2} \right)^{\frac{1}{n}} \right] \quad (3-4)$$

計算可知有效容積為 10.23 公升，蓄壓器若搭配使用 71 c.c./rev 的液壓泵浦，則可旋轉 144.1 轉，若搭配『195/75R16』輪胎、泵浦至輪胎傳動齒比 4.875，則可行駛 130 公尺(同時以 2 顆蓄壓器並聯來使用)。

關於液壓系統作動需求的第 3 種同時供油給蓄壓器與馬達模式，擬定的液壓系統油路圖如圖 3-13 所示。第 3 種模式是維持液壓泵浦與引擎的關係處於高效率區域，將液壓馬達所使用的液壓油之外的液壓油轉存入蓄壓

器。實際發生的情況可能是在車輛持續降低速度，甚至是鬆開油門踏板但並未採煞車的轉換期間。當施行此模式時，液壓泵浦已經操作於高效率區域內的最低吐出量(由液壓泵浦轉速與斜板角度組成)，且液壓馬達基於車速需求已調整到最小的斜板角度。倘若產出的油仍然高於使用的油，則在開啟壓力釋放閥之前，與在切換到第2種由蓄壓器帶動模式之前，所採行的切換之間的操作模式。比較第2種與第3種模式，兩者的差異在於引擎、可變量泵浦與其相連閥件的通電啟動與否狀態，也就是符合切換動作發生的順序，屬於一種暫態使用模式。除了需要裝置壓力釋放閥外，為了保護液壓泵浦、防止引擎逆轉，在液壓泵浦出口處需要增設單向閥。

在第3種模式切換到第2種模式的瞬間，液壓油將無法確認流入蓄壓器或流入液壓馬達(視何處具有較低的壓力而定)，因此需要在蓄壓器端與液壓泵浦入口處設置壓力感測器，增加蓄壓器壓力大於液壓馬達入壓壓力的確認邏輯(註：液壓泵浦仍然為油路系統中的最高壓力源處。)。當連接蓄壓器後，系統油路壓力會趨於平衡，而完成此模式同時供油給蓄壓器與液壓馬達的目的。

當蓄壓器內儲存有液壓油時，可進行第4種的液壓泵浦與蓄壓器同時供油給液壓馬德模式，擬定的液壓系統油路圖如圖3-14所示。這種模式主要來自於第2種模式，用於車輛起步階段，當蓄壓器內的液壓油並未儲存滿或已使用一部分，此時蓄壓器內壓力會漸降，而無法提供足夠的扭力。因此先將由導入液壓泵浦再次加壓，此種加壓過程會自然地減少引擎負載，而很快的到達高效率區域，後續在切換到第1種模式進行。

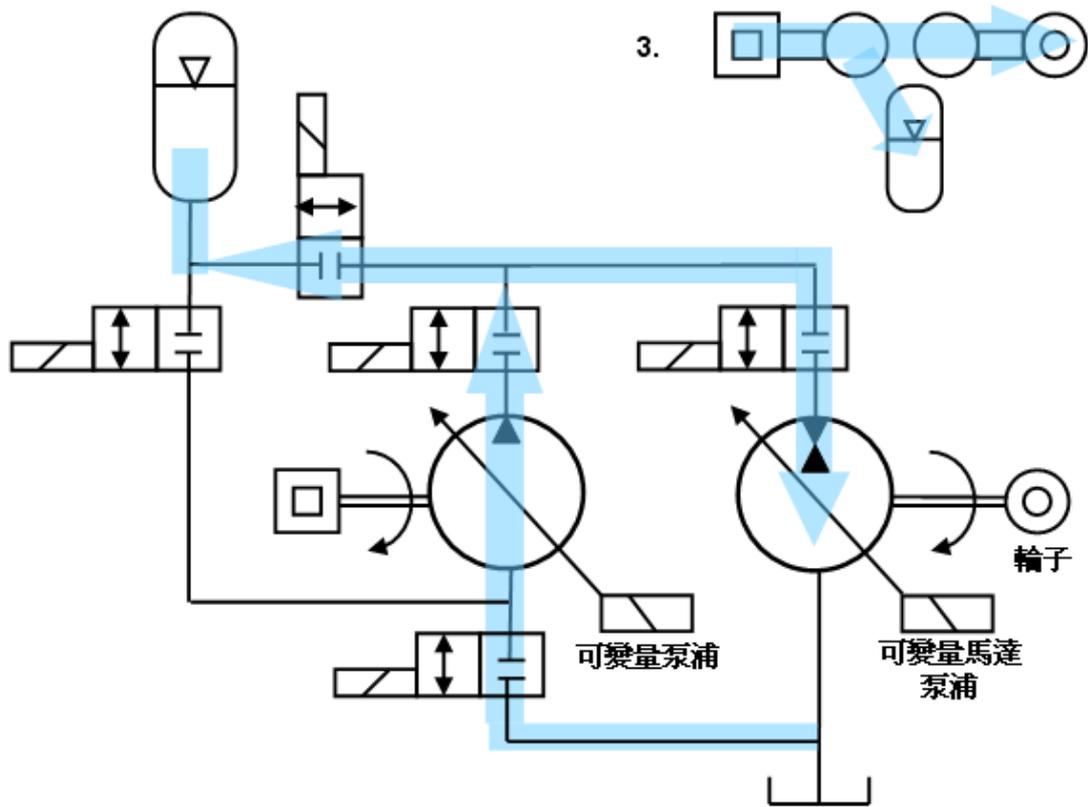


圖 3-13 同時供油給蓄壓器與馬達模式圖

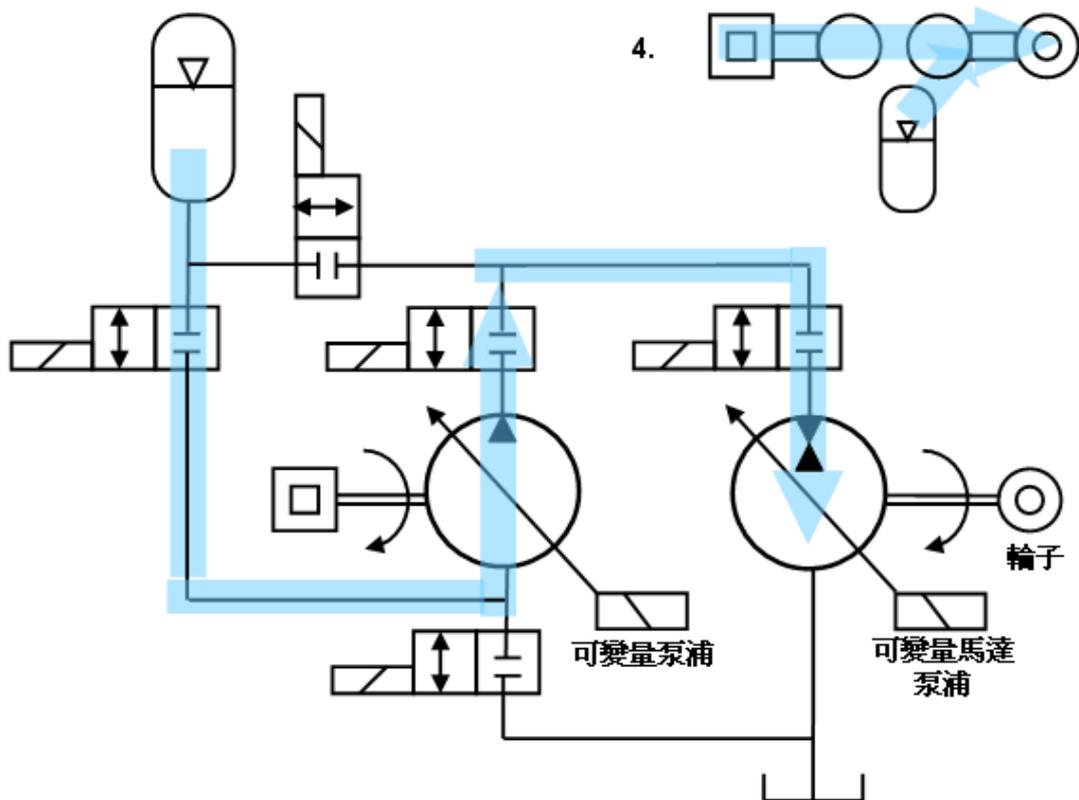


圖 3-14 泵浦與蓄壓器同時供油模式圖

關於液壓系統作動需求的第5種煞車能量回收模式，擬定液壓系統油路圖如圖3-15所示。設定當車輛鬆開油門、進行煞車時，轉入此模式。特別一提，從有踩油門到鬆開油門的減速操作，當蓄壓器端壓力低於液壓泵浦入口壓力時，事先內有油的時候是先進入第3種模式，經過設定的幾秒後再轉速第5種模式，此『模式1→模式3→模式5』與前述的『模式1→模式3→模式2』的差異在於車輛的減速操作，此處所提的是減速後接者踩煞車，前述是油門微踩或甚至不踩油門。

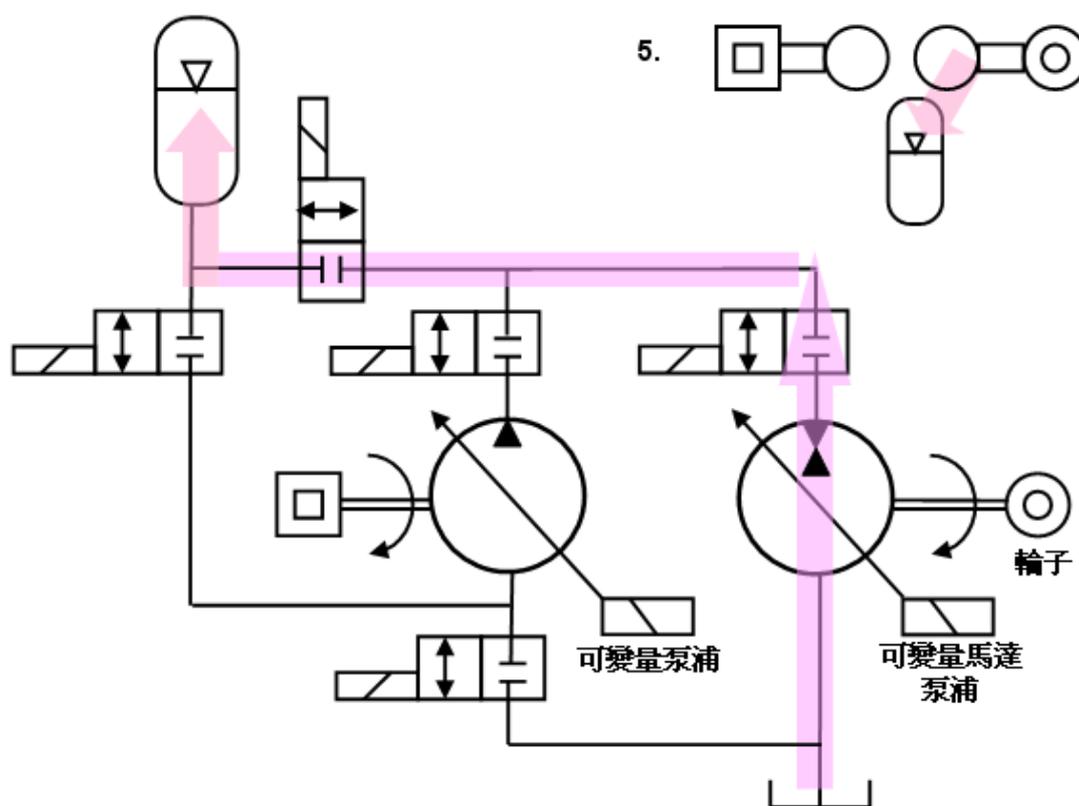


圖 3-15 煞車能量回收模式圖

在完成液壓混合動力車輛的系統架構與油路設計後，將得以以Matlab Simulink軟體中的Simscape SimHydraulics來研究液壓混合動力車輛的控制方式，探討包括：煞車能輛回收模組、小型串聯液壓混合動力車輛、小型並聯液壓混合動力車輛的控制。初步控制方式採Simulink中的PID控制，依時序追蹤設定之目標速度而進行整體動作。首先針對煞車能量回收模組

的模擬，如圖3-16所示。

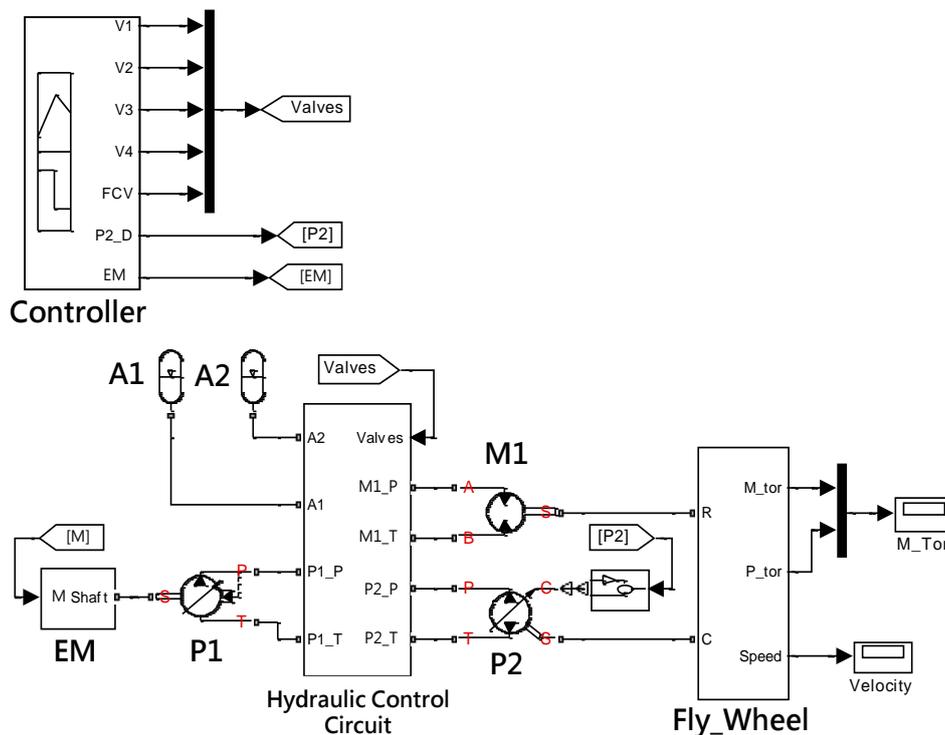


圖 3-16 Simulink 虛擬的液壓混合動力系統圖

圖3-16中的「Controller」為訊號的初始產生處，規劃各元件作動的時
間點。並依據車輛操作所需性能與液壓元件控制特性，設計模擬作動時間
軸如圖3-17所示。

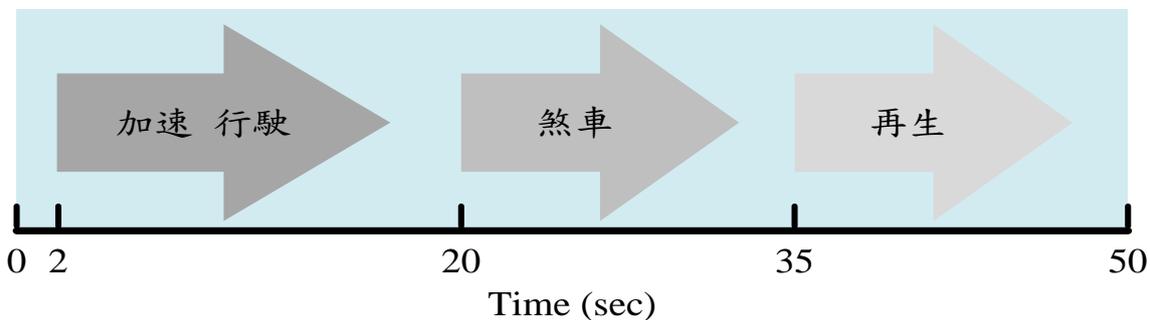


圖 3-17 Simulink 模擬作動時間軸圖

以模擬作動時間軸，液壓油流經各油壓元件的壓力變化與流量的模擬結果計算，整體系統的能量損耗效益，如圖 3-18 所示。其中， T_0 表示車輛剎車至停止間的動能，並以 100 % 表示。經軸向柱塞泵浦 (P2) 由機械能轉為液壓能，期間因油路內部轉換效率影響降為 94.1.64 %；再經過液壓管路系統，其中包含各閥門間的轉換，使能量再降為原來的 90.2 %；接著再經過高壓蓄壓器 (A1) 的儲存及釋放，使能量再降為 89.3 %；同樣地，再釋放時經過閥門控制到達軸向柱塞馬達 1 (M1) 前為 85.9 %；依此類推，最後可回復的動能約為原來的 68.7 %。也就是說車輛剎車時的動能，經過該研究設計的串聯式液壓混合動力系統運作之後，可回收其中的 68.7% 用來重新驅動車輛。

其中，P2、M1 兩個元件為主要的能量消耗，效率分別為 P2：94.1.64 % 及 M1：80 %。此兩元件動作除了油路的流動損失外，亦擔負將能量於機械能與液壓能間作轉換的工作損失。

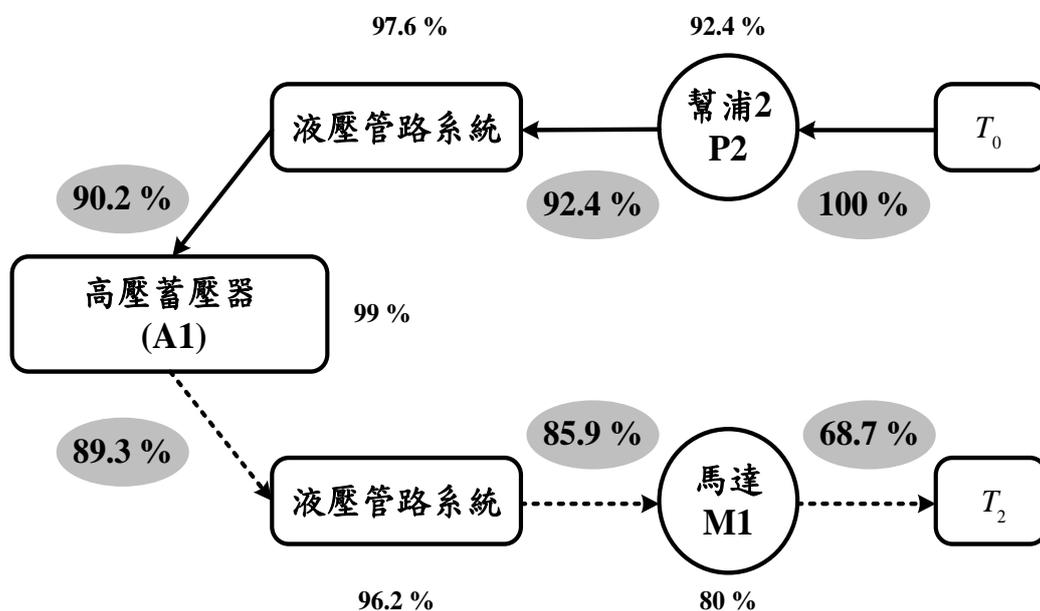


圖 3-18 能量回收效率示意圖

接著針對 2.5 噸小貨車加速至時速 50 公里並定速行駛模擬，接著煞車至車輛停止；將儲存之液壓能釋放，推動車體再次前進。分別針對串聯與並聯的液壓架構，以 Simulink 模擬如圖 3-19~圖 3-20 所示，其中包含傳統內燃機(引擎)之模型，與前述各液壓元件之數學模式，結合成液壓混合動力車輛整車的模擬分析工作。

串聯液壓混合動力車輛模擬主要針對煞車能量回收進行分析，結果如圖 3-21 所示，可看到從 15 到 30 秒間車輛利用液壓系統進行煞車至停，接著在 35 秒左右將液壓能釋放以推動車輛前進，所釋放的能量可幫助車體加速至約時速 42 公里，流率正值代表將高壓油釋放出，負值則表示高壓油被打入蓄壓器中。

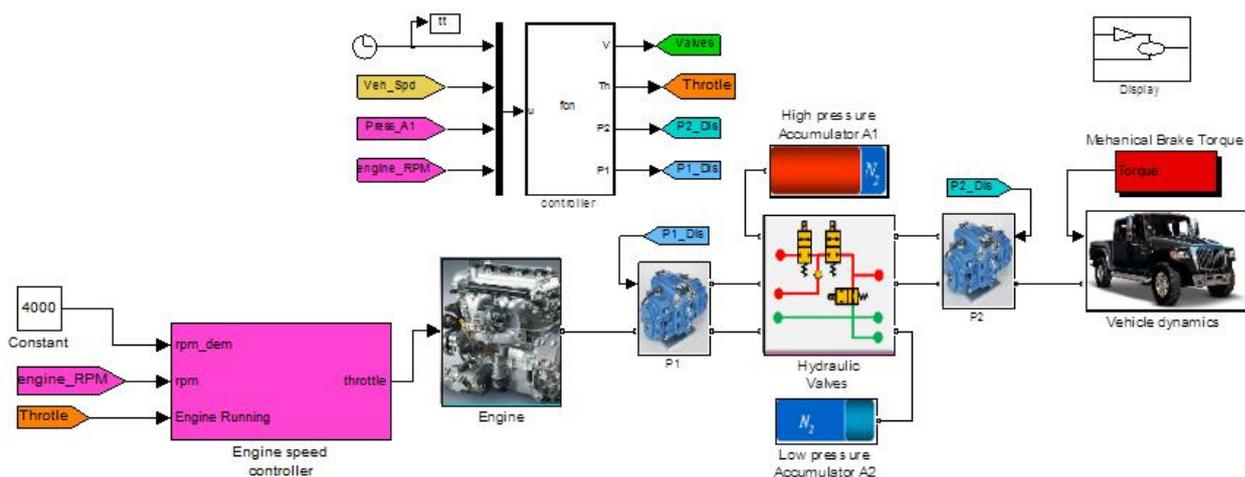


圖 3-19 串聯液壓混合動力車輛之 Simulink 模擬圖

並聯液壓混合動力車輛模擬則進一步以紐約市區的行車駕駛型態 (NYCC) 進行模擬，如圖 3-22 所示，圖中包含駕駛車速資訊、泵浦排量、蓄壓器壓力等資訊。於一次 NYCC 行車型態的模擬操作可知，液壓混合車輛在跑完循環時，蓄壓器壓力約為 182 bar，尚有儲放能量沒有釋放。因此，模擬接著採取連續多次循環操作方式，讓儲存之能量完全被利用，此情況下可直接利用駕駛循環模擬結果來評估整體系統效益。模擬計算傳統車輛燃油經濟性為 7.39 km/L，液壓混合動力車輛的燃油經濟性為 7.59~7.66 km/L。

以上模擬所使用的引擎耗油資料為軟體預設值，並非實際量測所得；控制方式採配合時序速度追蹤的 PID 控制，依關鍵元件作動敘述而進行。對於實際混合動力車輛行車邏輯的最適控制，仍有相當的提升空間。

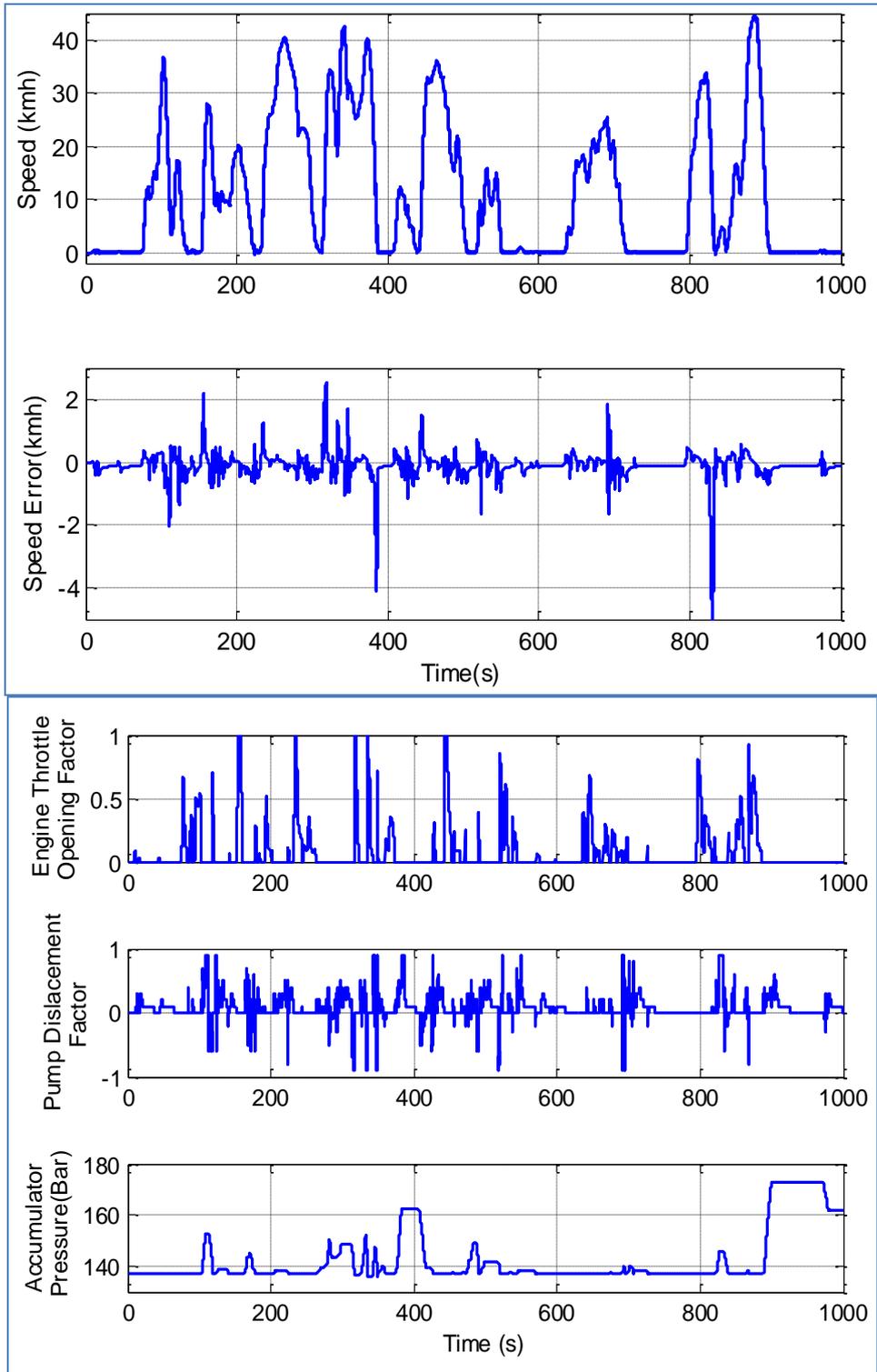


圖 3-22 並聯 HHV 模擬之紐約市區行車型態圖

4. 結語

隨著國際間重型車輛的燃油經濟性議題日益受到重視，近年來開始有適用於重型車輛的液壓混合動力系統節能產品推出。目前市面上液壓混合動力車輛訴求可以回收煞車能量，然而除此功能之外，液壓混合動力車輛更可以控制引擎操作於節能區間，而獲得更大的省油效果。

本工作以 Bosch Rexroth 公司於國內推出的液壓式再生煞車系統為標的，搭載於 Mercedes Benz Atego1524 底盤上，進行加減速操作型態的燃油經濟性測試。過程中以嚴苛的全油門急踩到底加速，以提供基本煞車安全性能的 0.3 g 減速，試驗得知得以節省燃油 2.6~11.3%。

本工作蒐集應用液壓混合動力系統的限制條件，並探討發揮系統效能的評估方法，包括：

- 確定系統設計要求
- 分析系統作動與主要參數
- 擬定液壓系統油路圖
- 選擇液壓元件與驗證規範
- 模擬、驗算液壓系統性能

實際以小型貨車為例，進行搭配國產元件的液壓混合動力車輛系統計算，並以 Simulink 軟體建立程式初步模擬系統效能。

本工作對於液壓混合動力行車控制方式仍需進一步深入探討，且需要搭配取得國內廠商關鍵元件的實際動態反應性能資料，如此才能做出更為真確的問題診斷與效能評估。

5. 參考文獻

- [1] 『Innas 公司網站之產品訊息』，2011年8月10日取自
<http://www.innas.com/HyDrid.html>
- [2] 『美國環保署網站之液壓混合動力車輛技術介紹』，2011年8月10日取自
<http://www.epa.gov/otaq/technology/research/research-hhvs.htm>
- [3] 『99年度垃圾清運體系調查規劃及垃圾車更新專案工作計劃』(EPA-99-H101-02-221), 行政院環境保護署/中興工程顧問股份有限公司(李文賢), 2011年3月
- [4] 『煞車系統設計及安全性』(第二版), Rudolf Limpert/高維山譯, 科技圖書出版, 2004年, ISBN 957-655-374-1
- [5] 『Bosch Rexroth公司網站之產品訊息』，2011年8月10日取自
http://www.boschrexroth.com/business_units/brm/en/products_and_solutions/hydraulic-systems/hrb-system/index.jsp
- [6] 『Eaton 公司網站之產品訊息』，2011年8月10日取自
http://www.eaton.com/ecm/groups/public/@pub/@eaton/@roadranger/documents/content/ct_168261.pdf
- [7] 『Parker Hannifin公司網站之產品訊息』，2011年8月10日取自
<http://www.parker.com/portal/site/Market-Tech/menuitem.e9f921bc8ae21676de92b210237ad1ca/?vgnextoid=e22cf84ab14ba210VgnVCM10000048021dacRCRD&vgnextfmt=default>
- [8] 『Parker Hannifin公司網站之產品訊息』，2011年8月10日取自
[http://www.parker.com/literature/Hydraulics%20Group%20US/Florida%20Background%20Final\[1\].pdf](http://www.parker.com/literature/Hydraulics%20Group%20US/Florida%20Background%20Final[1].pdf)
- [9] 『Innas公司網站之產品訊息』，2011年8月10日取自
<http://www.innas.com/HyDrid.html>