

液壓混合動力車輛的測試與試做

文/ 蘇皋群、高實祥

關鍵字：液壓混合動力車輛、能量回收、變量泵浦馬達

液壓混合動力車輛介紹

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。液壓混合動力車輛能將車輛減速時的能量回收，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(或稱為蓄能器, hydraulic accumulator)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，能使用回收的能量，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。傳統車輛因為行駛需求與道路條件，引擎的操作效率有高有低。然而液壓混合動力系統技術透過蓄壓器的能量儲存緩衝，可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能量輸出狀態下，也因此能夠得到省油的效果。

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[1]所示、並聯架構如圖 2[1]所示，主要差別在於並聯架構保留原本車輛傳動傳系統元件，特徵為具有主傳動軸，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。

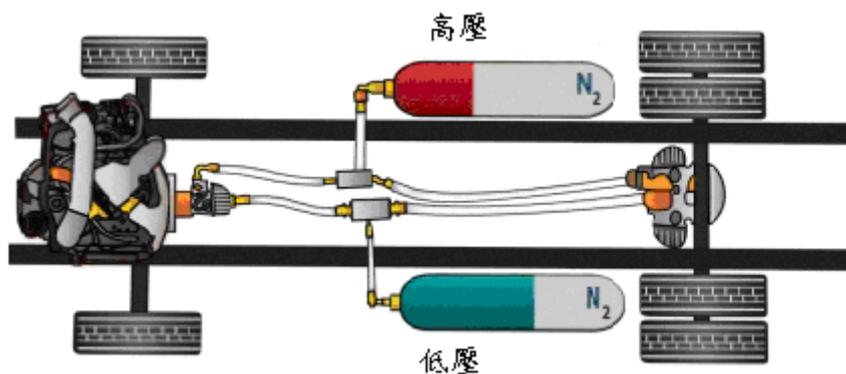


圖 1 液壓混合動力車輛串聯系統架構圖[1]

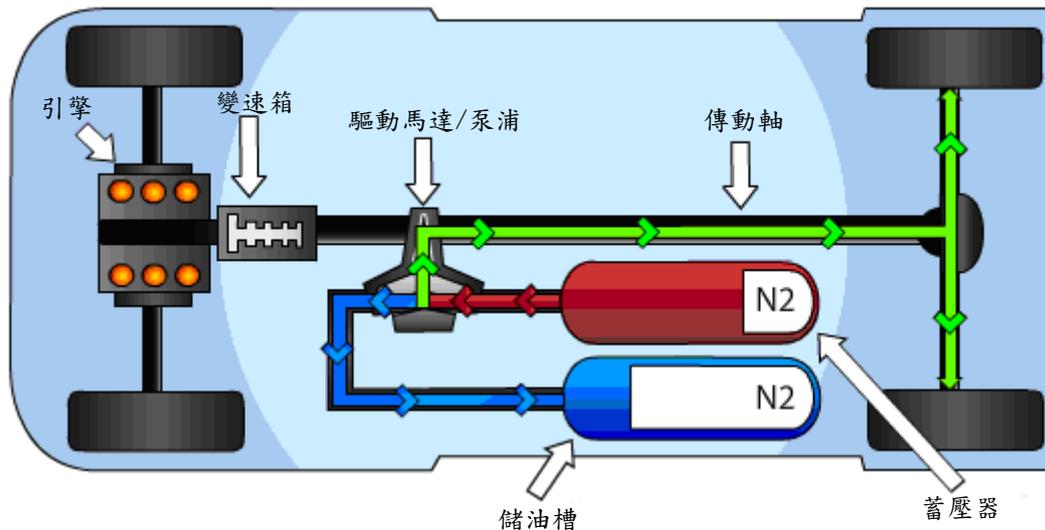


圖 2 液壓混合動力車輛並聯系統架構圖[1]

液壓混合動力產品使用情況

液壓混合動力系統的起源，可以追溯到 1972 年 Dunn 和 Wojciechowski 於能源轉換工程研討會中所發表的文章[2]，該研究由福斯公司 VW 311 車輛引擎來運轉飛輪、模擬整車能量，裝置有 5 gallon 的蓄壓器、4.8 in³/rev 的可變量泵浦等液壓元件，透過液壓泵浦回收模擬之車輛減速能量，儲存於蓄壓器並供後續釋放驅動飛輪使用。此研究認識到採用液壓系統方式，可以回收大部份原本車輛煞車時所消耗掉的能量。後續學者不斷精進探討，1992 年 Pourmovahed、Beachley 及 Fronczak[3]針對液壓混合動力系統各元件進行模擬匹配組合，並由實驗得知飛輪模型的能量回收可達 61 % 到 89 % 之間。

關於液壓混合動力產品於車輛上的使用，1982 年 Parker Hannifin 公司提出並聯架構的液壓混合動力系統 Cumulo Brake Drive，並在 1991 年提出串聯架構的液壓混合動力系統 Cumulo Hydrostatic Drive。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(簡稱 HRB)、Eaton 公司的 Hydraulic Launch Assist(簡稱 HLA)、Parker Hannifin 公司的 RunWise Advanced Series Hybrid Drive(簡稱 RunWise) 等。目前液壓混合動力車輛已在世界各地示範運行，並已有車輛製造商 Peterbilt 推出 Model 320 液壓混合動力車款(搭載 Eaton 公司的 HLA 系統)，車輛製造商 Autocar 推出 E3 Hybrid 液壓混合動力車款(搭載 Parker 公司的 RunWise 系統)。液壓混合動力車輛相較於傳統車輛的省油效果約為 15~25%，前三大廠商產品的情況，整理如表 1 所示。

表 1 國內外液壓混合動力車輛的使用與省油效果

廠牌 / 產品名稱	省油效果	說明	資料來源
Bosch Rexroth / Hydrostatic Regenerative Braking System	~10%	台灣嘉義實測(2011/10)，仍持續進行中。(註：若採定距離走停測試，且減速方式為入檔滑行、減速度約 0.1 g，省油可達 25%。)	[4]
	~25%	於歐美十餘個城市示範運行	[5]
Eaton / Hydraulic Launch Assist	15~30 %	此廠商宣稱資料	[6]
	30%	密西根州 Ann Arbor 市示範運行	[7]
Parker Hannifin / RunWise Advanced Series Hybrid Drive	27%	德州示範運行(2008/9)	[8]
	42%	南佛羅里達州的 Miami、Hialeah 及 Miami-Dade 等地示範運行(2009/5)	
	34%	內華達州示範運行(2009/8)	
	38~45%	密西根州示範運行(2010/3)	
	30%	於美國環保署 Verification Emerging Technologies List 公開資料	[9]

註：1.測試車輛台灣嘉義為 15 噸等級，其餘為 25 噸以上。

2.Rexroth 與 Eaton 產品主訴煞車能量回收功能，Parker 兼具傳動(變速箱)整合功能。

液壓混合動力車輛的測試

液壓混合動力系統的主要功能是回收車輛煞車(減速)時的能量，並於車輛起步(加速)時釋放能量使用、驅動車輛前進。為了了解這項功能的效果，財團法人車輛研究測試中心以 Mercedes-Benz Atego 1524 重型車輛搭載市面上可購得的並聯液壓混合動力系統產品，進行一組開啟使用液壓系統與關閉液壓系統的油耗[km/L]比較測試。所使用的車輛與液壓系統主要規格如表 2 所示。

表 2 並聯液壓混合動力車輛的主要規格表

	主要規格項目	規格內容
車輛部份	引擎型式	6-cyl., 6,374 c.c.
	變速箱型式	6 速自動排檔
	最大馬力/轉速	175.00 kW / 2,200 rpm
	最大扭力/轉速	843 N-m / 1,600 rpm
	軸距 / 最小迴轉半徑	4160 mm / 8.00 m
	最高速率 / 最大爬坡	111 km/hr / 34.0 %
	主煞車型式	雙迴路, 全空氣式, ABS
液壓系統部分	混合動力系統型式	並聯
	可變量軸向柱塞泵浦馬達	210 ccm
	最大馬力	250 kW

	最大扭力	1100 N-m
	蓄壓器容量	2 x 20 L
	蓄壓器最大壓力	325 bar

測試安排的車輛載重分別為：

- 空車
- 半載
- 滿載

車輛起步(加速)時的油門踏板開度操作，分別使用：

- 25%
- 50%
- 75%
- 100%

使車輛持續加速，直到一目標速度，此目標速度分別為：

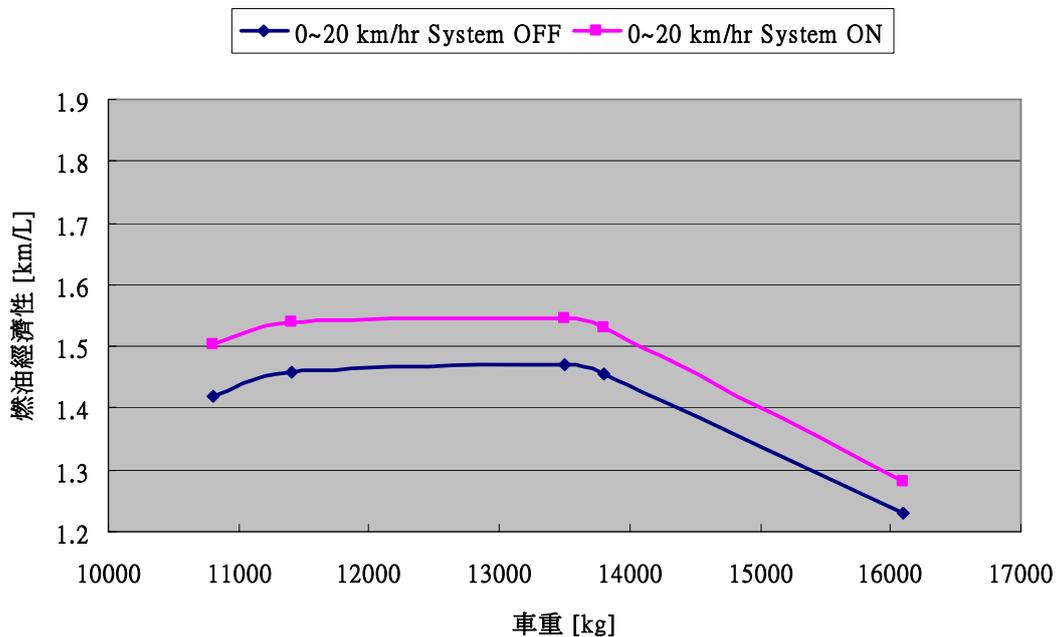
- 20 km/hr
- 35 km/hr
- 50 km/hr

再分別以不同的減速度使車輛進行減速，此減速度分別為：

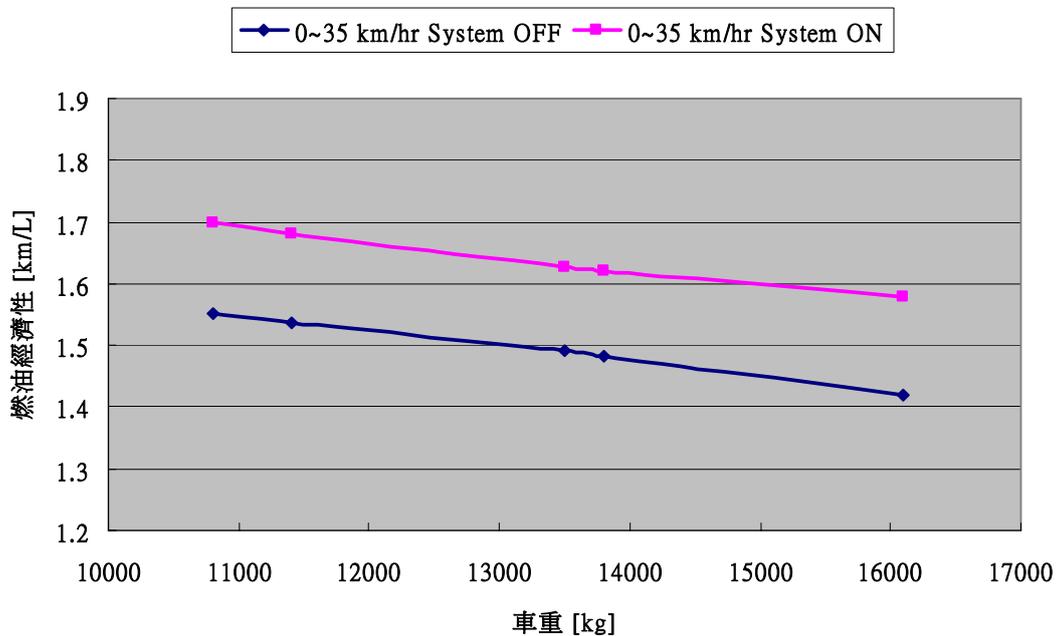
- 0.1 g
- 0.2 g
- 0.3 g

車輛由靜止加速到目標速度，再減速到靜止，此為 1 次操作。以同樣的操作條件，反覆進行加減速操作 15 次，量測油耗、行駛距離，並計算平均的油耗 [km/L]。目前該測試仍在進行中，初步獲得的數據如圖 3 所示，顯示在不同車輛載重下，開啟使用液壓系統相較於關閉液壓系統均具有省油效果。其中，以車輛滿載操作於 0~35 km/hr 的加減速情況為最佳，省油效果可達 0.16 km/L (11.3%)。又目前測試所獲得的數據是在重型車輛急踩油門、急踩煞車的操作情況，操作時明顯得知大部分的車輛減速能量是由原車輛煞車系統吸收，並無法回收再使用。因此預期在後續測試的和緩煞車情況，將會有更好的省油效果。

液壓混合動力車輛加減速測試 - 100%油門加速、0.3g減速



液壓混合動力車輛加減速測試 - 100%油門加速、0.3g減速



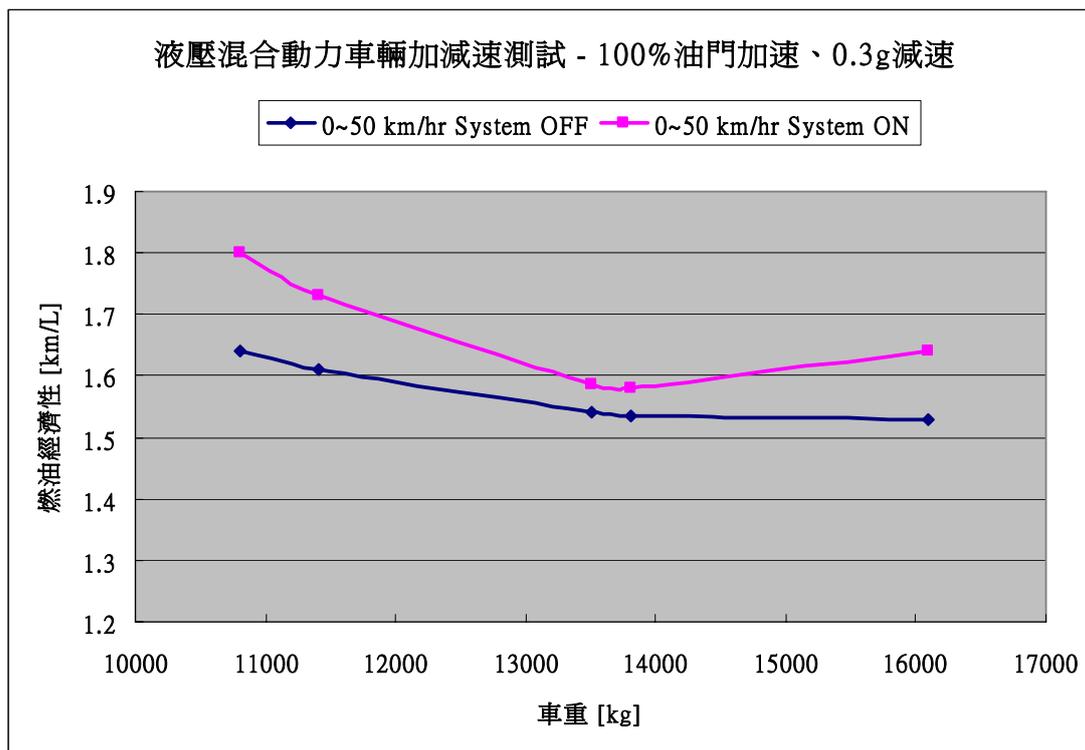


圖 3 聯液壓混合動力車輛之油耗測試情況

液壓混合動力車輛的試作

為了能夠更深入地了解液壓混合動力車輛，財團法人車輛研究測試中心結合國內學術界、機械業者與車輛業者，以國內最為常見的中華堅達 3.5 噸貨車試作串聯液壓混合動力車輛。試作車輛不使用原車輛變速箱、也不使用其他齒輪組與離合器機構，如圖 4、表 3 所示。試作車輛主要功能的系統油路動作如表 4 所示，實際包括車輛起步、加速、巡航、減速與停止等候等操作。

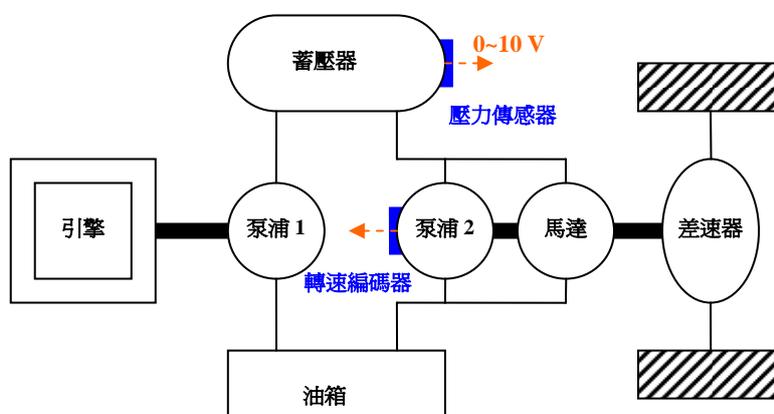
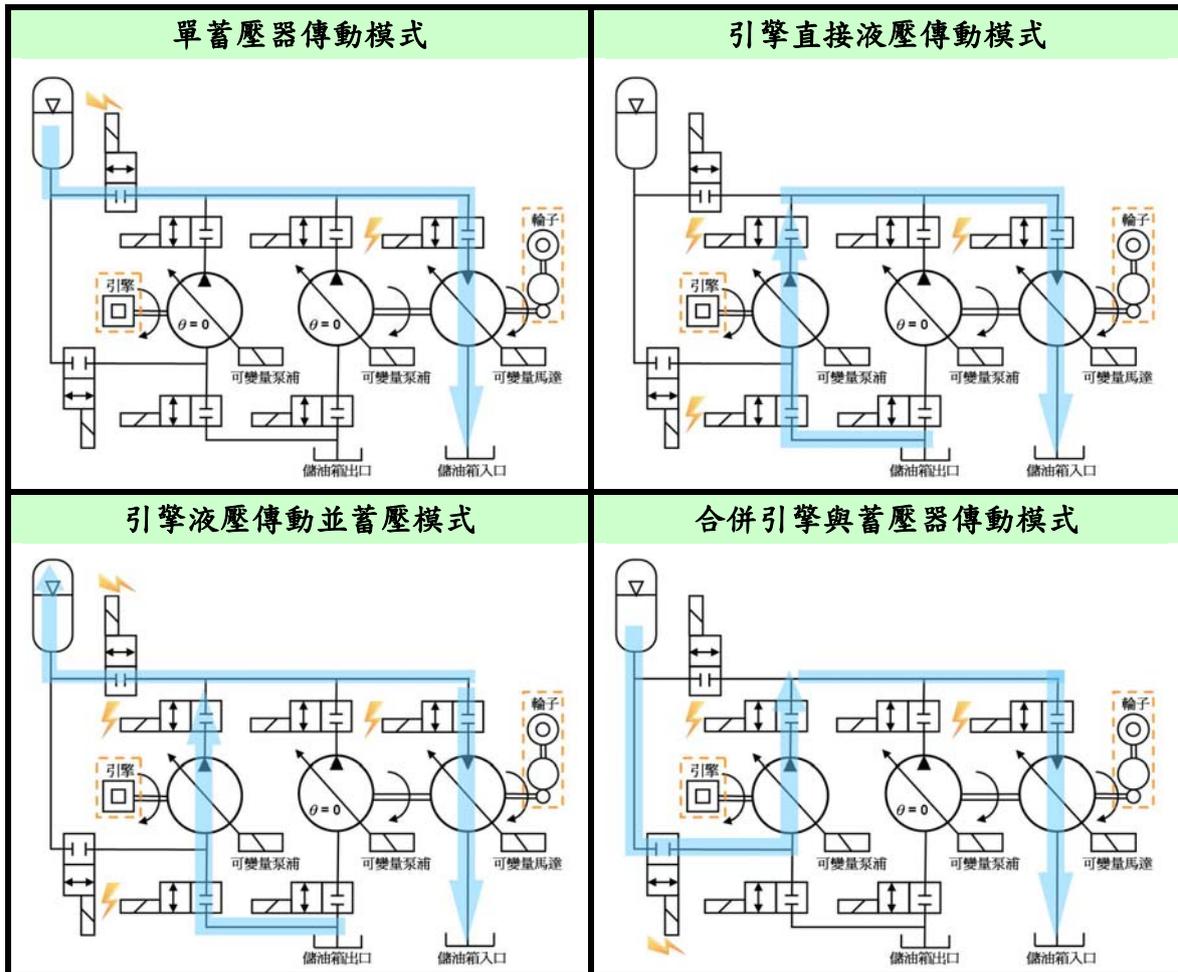


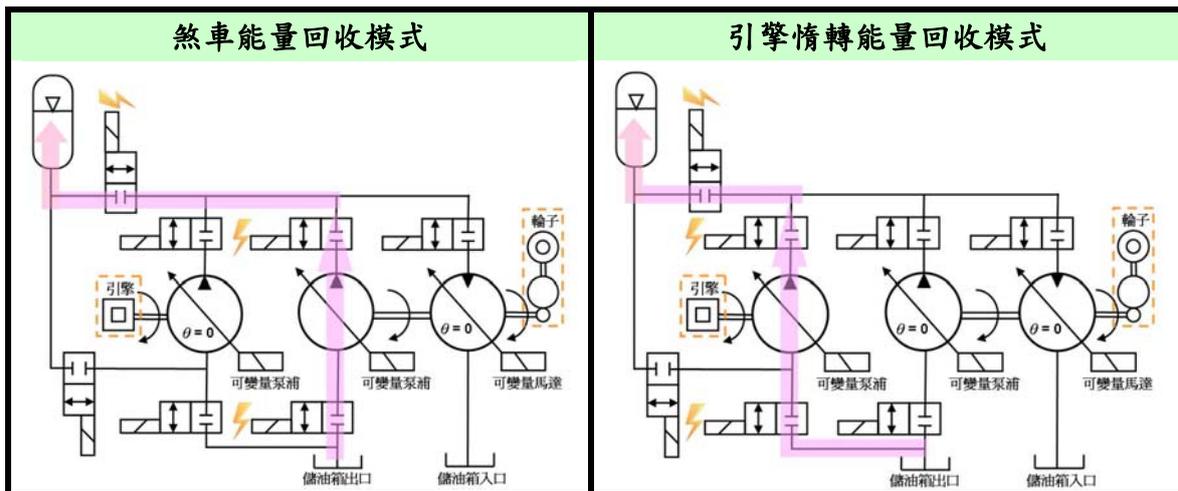
圖 4 改裝的串聯液壓混合動力車輛架構圖

表 3 串聯液壓混合動力車輛的主要規格表

	主要規格項目	規格內容
車輛部份	引擎型式	2977 c.c.
	引擎最大馬力	95 kW @ 3200 rpm
	引擎最大扭力	31 kg-m @ 1700 rpm
	最終傳動的齒比	4.875
	輪胎規格	195/75R16 (外徑 698.9 mm)
液壓系統部分	混合動力系統型式	串聯架構
	引擎端可變量軸向柱塞泵浦	71 c.c./rpm
	可變量軸向柱塞泵浦馬達	92 c.c./rpm + 70 c.c./rpm
	最大馬力	70 kW@1500 rpm
		80 kW@1800 rpm
	蓄壓器容量	2 x 20 L
蓄壓器工作壓力	130~300 bar	

表 4 串聯液壓混合動力車輛的系統油路動作表





試作之串聯液壓混合動力車輛設計有以下安全機制：

- 手動 機械式旋轉釋壓閥

任何壓力時，強迫油壓壓力降至 0。(註：蓄壓器之氣體端壓力仍然維持皮囊預充壓力。)
- 手動 按鈕電控式油路釋壓閥

任何壓力時，強迫油壓壓力降至 0，並亮燈警示。
- 自動 機械式油路釋壓閥

設定壓力超過 300 bar，釋放並維持油壓壓力 300 bar 以下。
- 自動 電控式油路釋壓閥

設定壓力達 324 bar，強迫油壓壓力降至 143 bar，並亮燈警示。
- 自動蓄壓器氣體端安全閥

設定於 360 bar 作動，經 TUV 認證。

試作之串聯液壓混合動力車輛以可程式控制器進行電控程式編寫，可提供車輛操作人員以下使用方式：

- 前次車輛使用後
 1. 車輛停止、手煞。
 2. 操作人員按停止功能。
 3. 若長期停止，操作人員先加按按鈕洩載功能。
 4. 若長期停止，操作人員下車操作機械式旋轉洩載閥。
 5. 熄火、抽鑰匙。
- 啟動
 1. 行車前檢查，包括：蓄壓器壓力、蓄壓器開關、手動洩載開關、油箱液位、油質與濾清器狀態等。
 2. 操作人員插鑰匙、旋開電路，按啟動準備功能。
 3. 無警告故障燈號。
 4. 操作人員踩腳煞車、完全放油門，發動引擎。

5. 操作人員判別車速 0、引擎轉速落於惰轉轉速。

6. 此項完成。

■ 惰轉蓄壓(按鈕控制/自動切換)

1. 啟動。

2. 判別蓄壓器壓力落於可惰轉回收能量壓力範圍。(註：電控亦有執行，亮燈警示。)

3. 操作人員按惰轉蓄壓功能。

4. 操作人員判別車速 0、引擎轉速落於惰轉能量回收轉速。

5. 判別蓄壓器壓力上升。(註：電控亦有執行，亮燈警示。)

6. 判別落於惰轉能量回收後壓力範圍，不再上升(註：電控亦有執行，亮燈警示。)

7. 操作人員判別車速 0、引擎轉速回到落於惰轉轉速。

8. 此項完成。

■ 試驗車輛前進(按鈕控制/自動切換)

1. 啟動。

2. 操作人員按液壓驅動功能。

3. 操作人員判別車速 0、引擎轉速落於惰轉轉速。

4. 判別蓄壓器壓力數值，落於壓力使用範圍。(註：電控亦有執行，亮燈警示。)

5. 電控指示操作人員是否腳踩原車輛引擎之油門，人工控制引擎轉速提升。如不需踩油門，則跳過下一步。(註：實作初期仍維持以人工進行引擎油門的操作與引擎轉速的判讀。)

6. 操作人員判別車速維持 0、引擎轉速有提升。

7. 操作人員踩、推或旋新設置之液壓控制裝置(油門)，使車輛開始前進。

8. 操作人員判別車速 >0 。

9. 電控指示操作人員是否腳踩原車輛引擎之油門，人工控制引擎轉速提升。如不需踩油門，則跳過下一步。

10. 操作人員踩、推或旋新設置之液壓控制裝置(油門)，使車輛開始前進，並正相關地改變車速。

11. 操作人員判別引擎轉速。

12. 自 8.重複，直到操作人員判別車速 $=0$ 。

13. 此項完成。

■ 車輛動能回收(按鈕控制/自動切換)

1. 操作人員判別車速 >0 。

2. 操作人員鬆開新設置之液壓控制裝置(油門)。

3. 判別蓄壓器壓力數值。(註：電控亦有執行，需亮燈警示。)

4. 操作人員按動能回收功能，車輛減速。

5. 操作人員踩、推或旋新設置之液壓控制裝置(煞車)，使車輛開始減速。

6. 操作人員判別車速開始降低。
7. 判別蓄壓器壓力上升。(註：電控亦有執行，需亮燈警示。)
8. 操作人員踩、推或旋新設置之液壓控制裝置(煞車)，使車輛持續前進，並正相關地改變車速。
9. 自 6.重複，直到操作人員判別車速=0。
10. 此項完成。

以上敘述之情轉蓄壓功能、液壓驅動功能與動能回收功能，三者可選擇按扭控制切換，或自動切換。其中按鈕控制切換(如以上分項所敘述)，可用於測試動作所用。而自動切換，則可使車輛任意地進行車輛起步、加速、巡航、減速與停止等候等操作變換使用，目前此串聯液壓混合動力車輛試作工作仍持續在進行中。

結語

液壓混合動力技術為國際間經過驗證、具有提高燃油經濟性的車輛節能技術。惟目前屬於產品推出初期、價格仍高，需待產品量產或國產化價格降低後，才能符合國內車隊業者期待的 2~4 年回本期。建議可考量推動稅賦減免與政策補貼，如：貨物稅減免、購買補助、納入 ESCO 節能績效保證與資金融通等方案。

國內廠商在流體傳動的產品開發、生產製造上都具有相當的競爭力，財團法人車輛研究測試中心結合國內學術界、機械業者與車輛業者，進行液壓混合動力系統的測試與實作，可使國內官產學研各界更明確地瞭解液壓混合動力車輛的使用情況，進而促成廠商提升現有產品能力與進行相互間的整合或合作，期望能促成投入車輛節能產業，擴大我國液壓產業的產品應用領域，提昇我國車輛工業技術水準，形成新的系統產品與服務價值鏈，更重要的是對永續環境盡一份心力。

致謝

本研究承蒙經濟部能源局計畫補助，經濟部能源局契約編號 101-D0406，由於經費支持使本計畫得以順利進行，特此致上感謝之意。

參考文獻

- [1] 『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>
- [2] H. S. Dunn and P. H. Wojciechowski, "High-Pressure Hydraulic Hybrid with Regenerative Braking," Proceeding of the 7th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, San Diego, CA, pp. 989-995, 1972.
- [3] A. Pourmovahed, N. H. Beachley, and F. J. Fronczak, "Modeling of a Hydraulic Energy Regeneration System - Part I: Analytical Treatment," AEME Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, pp.155-159, 1992.
- [4] 消息資料由 Bosch Rexroth 公司的代理商大東車體企業股份有限公司提供。
- [5] 『Bosch Rexroth 公司網站之產品訊息』，2012年2月2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] 『Peterbilt 公司網站之產品訊息』，2011年8月10日取自 <http://www.peterbilt.com/hybrid320.1.aspx>
- [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] 美國環保署 Verification Emerging Technologies List, <http://epa.gov/cleandiesel/verification/emerg-list.htm>, 瀏覽日期 2011/12/1

作者簡介

蘇泉群

現職：財團法人車輛研究中心環能研究課 副工程師

學歷：國立中山大學機械與機電工程研究所

專長：熱流學、機械設計

高實祥

現職：財團法人車輛研究中心環能研究課 副工程師

學歷：國立中興大學機械工程所熱流組

經歷：台灣櫻花股份有限公司

專長：機械設計、流場分析