

電子式煞車助力系統研究

廖彥欣¹、陳俊傑、黃世杰

財團法人車輛研究測試中心

¹E-mail: mgthink@artc.org.tw

經濟部技術處科技專案計畫：100-EC-17-A-04-02-0889

摘要

電動車已成未來無法抵擋的趨勢，為因應新式動力系統的變化，本文提出一套新式煞車系統的配套設計。傳統煞車倍力裝置利用引擎進氣歧管處之真空進行煞車輔助，而車輛動力系統由內燃機引擎過渡至馬達動力後，將無法為煞車倍力裝置提供輔助真空，在不改變原煞車倍力裝置的前提下，尋找其他代之穩定真空源是目前主要課題。本設計在車輛動力由馬達傳至車輪的路徑上，併接一組機械式真空泵浦，使藉由車輛移動時多餘的能量來驅動，如減速時的能量，減少非必要耗能。真空管路上同時併接一顆輔助電動真空泵浦，確保車輛在停止或低速時仍能穩定持續提供真空，兩組真空泵浦透過 ECU 的交互調控來提供車輛煞車時所需要的穩定真空源，這樣的設計除可減少系統耗能外，雙泵浦更可提供優異的失效防護。由實驗結果可知，本系統之機械泵在車速 40kph 以上即可提供足夠真空供煞車使用。

關鍵詞：煞車輔助、煞車倍力器、真空

1. 前言

煞車為車輛重要的保安系統之一，在任何情況下都不允許發生失效，然而單靠駕駛者踩踏的力量並無法提供足夠的煞停性能，因此在最初的車輛設計上即設有一組煞車倍力裝置，透過真空與大氣之間所產生的壓力差來提供煞車輔助的效果。

煞車倍力裝置採純機械作動，可參考如圖 1 架構，在煞車踏板未踩踏狀況下膜片的前後室均維持真空狀態，踩下煞車踏板後大氣閥隨即被推開，後室(P_1)灌入大氣，由於此時前室(P_2)仍保持真空，膜片前後即產生壓力差，此壓力會將膜片往前室推動，煞車倍力器即是利用此推力來作為額外的輔助力，由於所有的動作均採純機械作動，真空源亦由引擎端提供，因此系統的成熟度極高且失效發生率極低。[1][2]

近年由於能源議題、環保要求及二氧化碳排放標準日益趨嚴的驅勢下，各大車廠已針對電動車輛進行佈局，因此車輛動力系統由馬達取代內燃機引擎勢必成為未來無法抵擋的趨勢，然而這樣的變更不僅是換了一個動力系統而已，車輛上許多依賴引擎動力的附件系統也須隨之改變，煞車倍力裝置即是其一，由於不再有引擎提供穩定真空，因此需另尋其他可用之替代真空源，本文在此提出一套系統設計策略，用以取代引擎提供一套

穩定可靠的真空源。

目前市場常見之電動車煞車助力系統主要可分為真空輔助式及馬達伺服輔助式，真空輔助式架構如圖 2 及圖 3 所示，其中依控制方式又可分为純機械控制及電子控制兩種方式，目前如工研院及 ARTC 電動車即採用此型式；而馬達伺服輔助式為類似電子式動力轉向系統型式之力量輔助系統，目前由 Nissan Leaf 所採用。

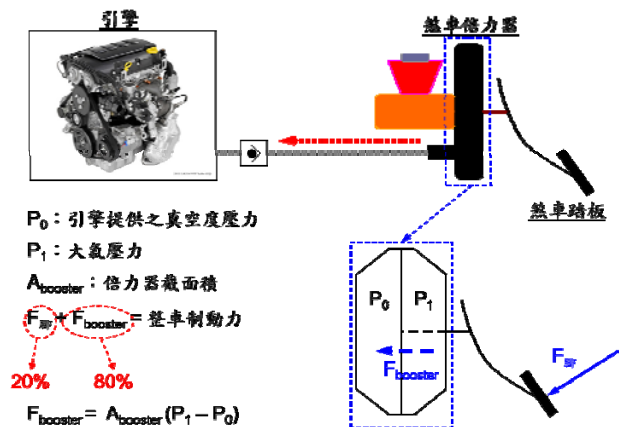


圖 1 傳統煞車倍力器架構圖

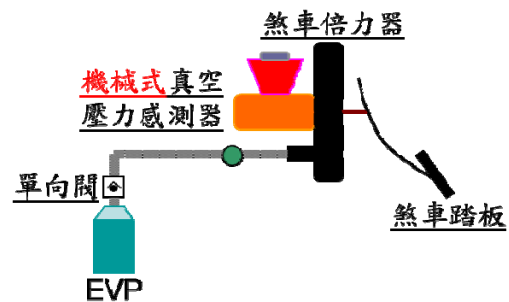


圖 2 真空煞車助力系統 - 純機械控制

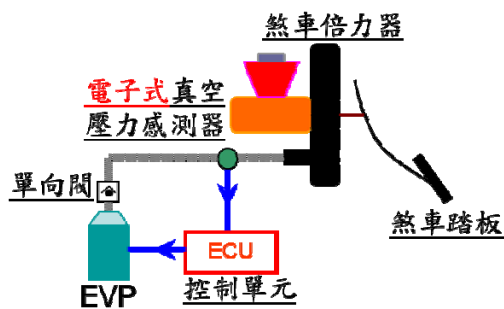


圖 3 真空煞車助力系統 - 電子控制式

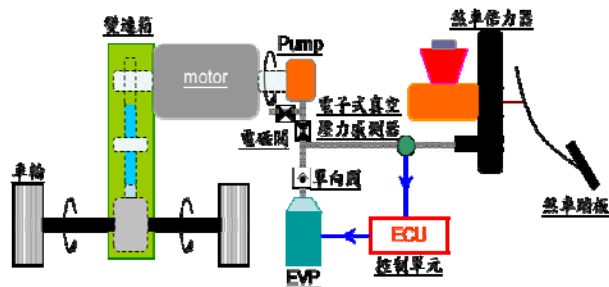


圖 5 電子式煞車助力系統架構二

2. 電子式煞車助力系統設計

由於煞車為車輛重要保安件，因此失效防護為本設計最主要考量，本節嘗試提出一套煞車助力系統架構，以機械真空泵(Mechanical vacuum pump, MVP)搭配電子式真空泵(Electric vacuum pump, EVP)取代傳統引擎提供穩定可靠的真空源。

2.1 系統架構

本架構在車輛動力由馬達傳至車輪的路徑上，併接一組機械式真空泵浦，經電子控制單元(Electronic control unit, ECU)控制，使其藉由車輛移動時多餘的能量來驅動，例如運用減速時的能量，以減少非必要耗能，同時為確保車輛在停止或低速時仍能穩定持續提供真空，在機械真空泵浦(MVP)至真空倍力輔助裝置的管路間再併接一顆輔助用電動真空泵浦(EVP)，提供車輛停止或低速時煞車輔助使用，兩組真空泵浦透過 ECU 的交互調控來提供車輛煞車時所需要的穩定真空源，除可減少系統耗能外，雙泵浦設計更可提供優異的失效防護。

本文提出兩種不同的 Layout 設計，圖4為第一種設計架構，其將機械真空泵浦(MVP)與減速機做整合設計，在車輛減速時利用車輪旋轉之動能來帶動泵浦產生真空並儲存於煞車倍力器內，同時管路上也併接一組輔助用真空泵浦(EVP)以供車輛低速或靜止時使用，而圖5為第二種架構，除泵浦整合位置改為驅動馬達後端之外，運作原理與架構一相同。

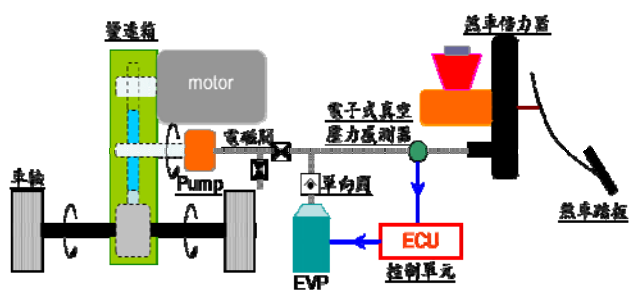


圖 4 電子式煞車助力系統架構一

2.2 操作情境設定

確定系統硬體架構後，接下來將針對不同行駛條件設定所需之操作情境。綜整日常煞車的操作時機，依照高低速等不同的操作狀態、系統正常與否來列出平常煞車的操作條件，其結果如下表 1:

表 1 操作情境

系統正常	靜止&極低速	靜止或極低速情形下停車、斜坡停車、啟動車輛
	中/高速	中/高速執行煞車
系統失效	真空度建立完成	
	系統之機械式真空泵失效	

2.3 系統邏輯設計

接著依據上節所設定之操作情境，建立系統對應的邏輯控制，茲整理如下:

- 靜止或極低速情形下停車、斜坡停車、啟動車輛:
由於車輛靜止不動或是極低速時，機械式真空泵(MVP)「不作動」或「緩慢作動」，無法提供煞車倍力器所需的真空源。因此在靜止停車、低速停車、斜坡停車或發動車子時，無法透過機械式泵浦提供正常煞車所需之真空。因此 ECU 會透過電子式真空感測器，監控煞車倍力器之真空源是否足夠，若感知真空度不足則 ECU 將驅動電動真空泵浦(EVP)，以維持足夠之真空源，運作情形如圖 6 所示。

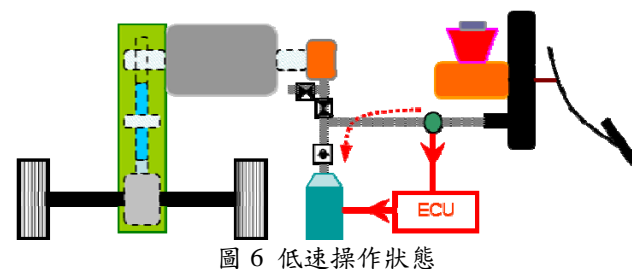


圖 6 低速操作狀態

- 中/高速煞車:
利用車輛移動之多餘動能帶動機械式真動泵轉動，如利用放掉油門踏板滑行時或減速時的轉動能量，提供足夠之真空源給煞車倍力器使用，如當下煞車踏板未採下則真空將儲存至煞車倍力器內，以供下次煞車使

用，同時 ECU 也會持續監控煞車倍力器內之真空值，除真空度不足時 ECU 會驅動電動泵彌補不足之真空外，其餘時間電動真空泵會維持無作動，運作情形如圖 7 所示。

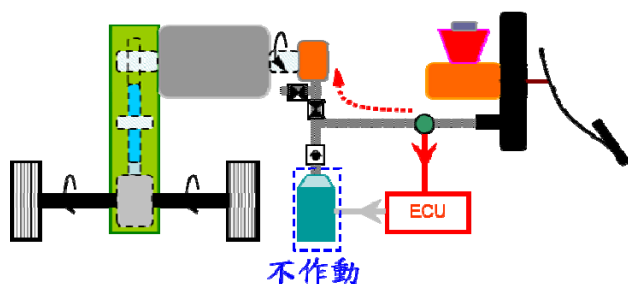


圖 7 中高速操作狀態

- 真空度建立完成

真空值尚未達設定門檻時，ECU 會將電磁閥 1 打開並關閉電磁閥 2，持續將煞車倍力器氣體抽至外部，待真空值達設定門檻後，則 ECU 會將電磁閥 2 打開並關閉電磁閥 1，此時機械式真空泵將大氣抽至大氣，形成 Bypass 通路，將系統耗能降至最低，詳如圖 8 所示。

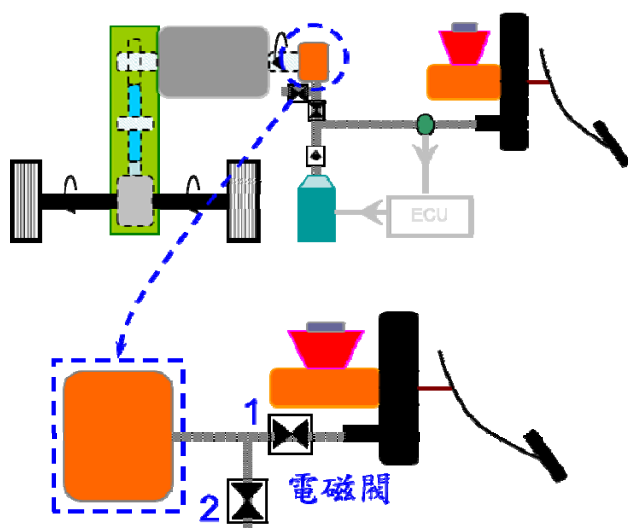


圖 8 By pass 維持真空值

- 系統之機械式真空泵失效

若當系統偵測到車輛在移動狀態下機械式真空泵 (MVP) 無法提供真空時，ECU 會先透過電子式真空感測器監控煞車倍力器之真空源是否足夠，若真空不足時則 ECU 會驅動電動真空泵 (EVP) 來補足真空度，以維持正常煞車功能，同時顯示系統異常燈號提醒駕駛，詳如圖 9 所示。

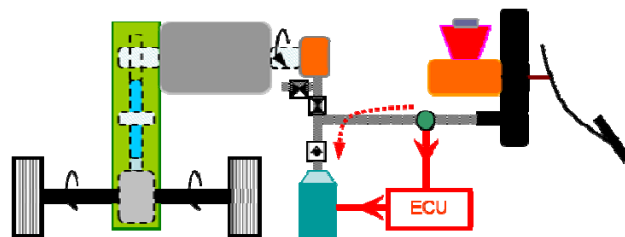


圖 9 機械泵 (MVP) 失效狀態

3. 系統試驗

本設計主要概念為利用回收車輛移動的能量來建立真空，意即車輛移動的同時就可提供真空供煞車輔助使用，減少無謂耗能，而考慮到煞車所需的低速行車及失效備援情境，所以增設一組電動泵作為輔助使用，以確保系統在任何情況下均可滿足煞車輔助的真空需求，而這樣的設計意味著若機械泵在低轉速 (低車速) 下即能提供穩定真空，則輔助電動泵的作動時機可大幅減少，因此本節將針對不同真空泵在不同轉速下的建壓性能作一比較，此結果可做為未來系統建構之參考。

3.1 實驗架構

本節針對兩種不同形式之真空泵浦進行高低轉速下真空建壓能力試驗，分別針對離心葉片式 (圖 10) [3] 與往復活塞式 (圖 11) [4] 真空泵浦進行試驗，有鑒於目前電動車輛均為單減速比設定，驅動馬達轉速範圍可由 0~12000rpm (對應車速約 0~120kph)，對於一般真空泵浦來說這樣的轉速範圍仍然偏高，因此在驅動馬達與機械泵之間將設定一速比 2.5 之減速機構，除可縮小轉速變化範圍外亦可防止轉速過高對真空泵造成損害。

實驗平台說明及架設如圖 12 及圖 13 所示，利用小馬達模擬電動車驅動馬達經過 2.5 倍減速後之轉速，然後帶動機械泵建立真空，分別針對車輛於 120、90、60、40、20、10kph 的速度條件下測試機械真空泵的建壓性能。(對應轉速 120kph→4800rpm、90kph→3600rpm、60kph→2400rpm、40kph→1600rpm、20kph→800rpm、10kph→400rpm)

本實驗直接利用馬達帶動煞車倍力器進行建壓，依照預定轉數旋轉，並在真空泵浦運轉 10 秒後切斷電源，觀察煞車倍力器內真空度之變化，此實驗主要試驗泵浦在變動速域下的建壓能力，藉此挑選出特性相符的泵浦型式。

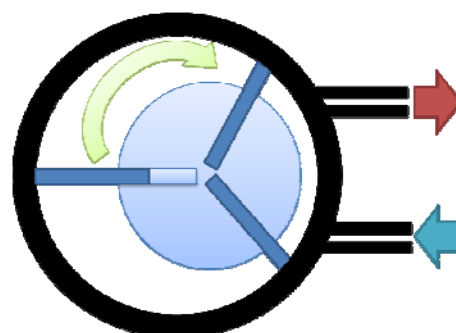


圖 10 離心葉片式真空泵

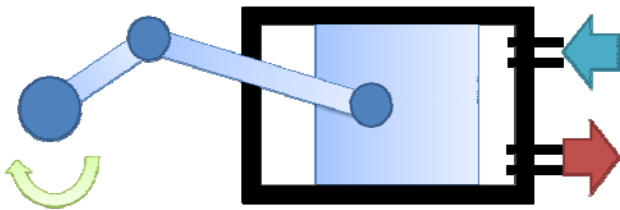


圖 11 往復活塞式真空泵

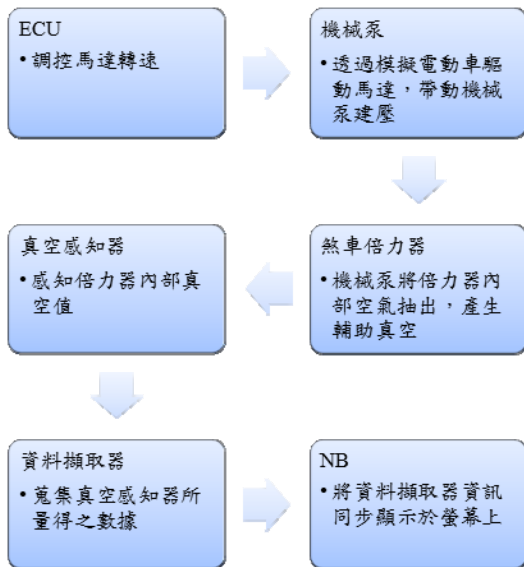


圖 12 實驗架構說明

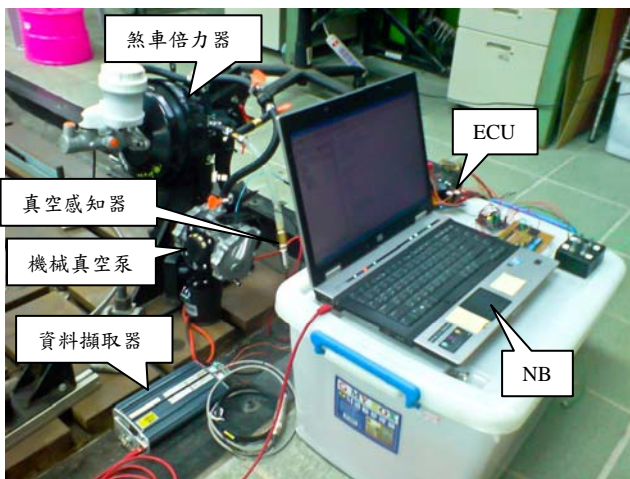


圖 13 試驗平台架設

3.2 實驗結果

本實驗在時間 5 秒(T=5)時對煞車倍力器進行建壓，真空泵浦運轉 10 秒後切斷電源(T=15)，同時觀察煞車倍力器內真空度之變化。兩組真空泵之變動轉速實驗結果如圖 14 及圖 15 所示。(註: colt plus 煞車輔助真空值平均約-450mmHg)

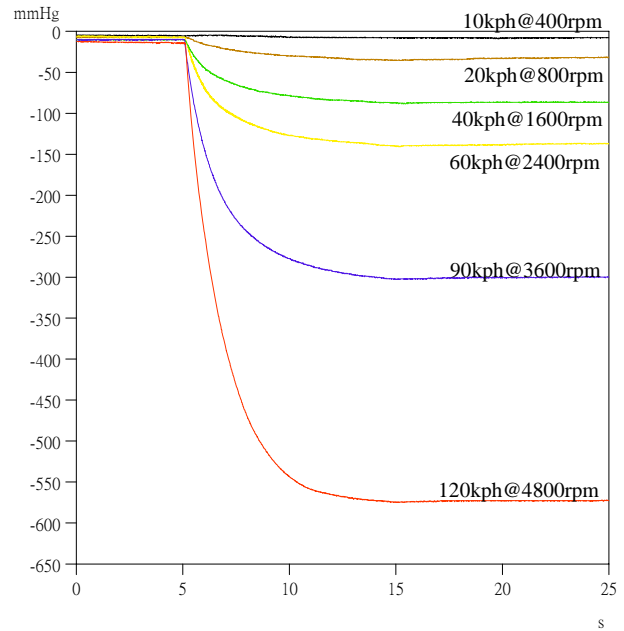


圖 14 離心葉片式真空泵

由圖 14 結果可知離心葉片式真空泵採變動轉速操作時對建壓性能影響甚鉅，車速 120kph 狀態下可提供足夠之真空給煞車系統作為輔助使用(-575mmHg)，當車速降至 90kph 時提供的真空已不足煞車輔助使用(-300mmHg)，此時需透過電動真空泵來彌補不足的真空度，而當車速降至 60kph 則機械泵建壓能力大幅降低，提供的真空度遠低於煞車輔助需求，此時大部分真空均需由電動泵來提供。

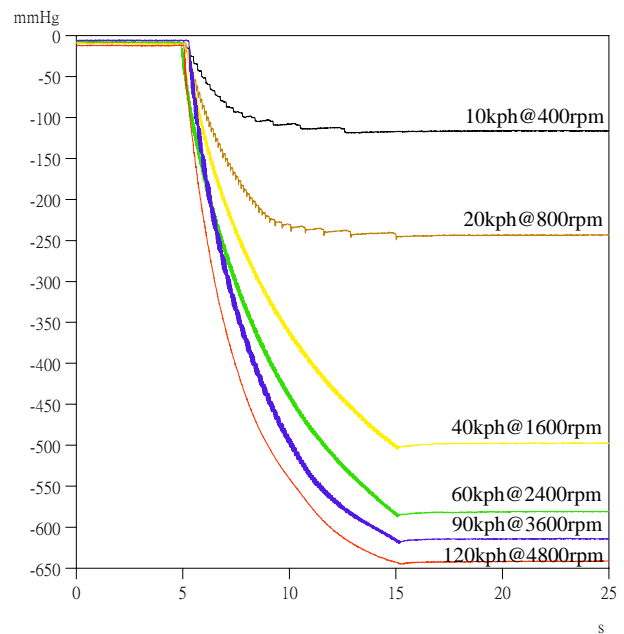


圖 15 往復活塞式真空泵

由圖 15 結果可知往復活塞式真空泵在車速 120kph 可達到-640mmHg 真空度，車速 90kph 達-610mmHg，60kph 達-580mmHg，直到車速降至 40kph 仍可提供-490mmHg 左右之真空度(仍高於 colt plus 之-450mmHg)，若車再往下降至 20kph 其真空度則大幅降至-250mmHg。由上述結果可知若使用往復活塞式真空泵，於車速 40kph 以上即可提供足夠之真空度，因此往復活塞式真空泵搭配合適減速比即可滿足大部分行車條件下所需之真空源，換言之即車速低於 40kph 方才需要電動真空泵浦的介入輔助。

4. 結論

本文提出一套電子式煞車助力系統架構，並說明系統架構、控制策略及系統試驗與結果，其結果綜整如下：

- (1) 在不改變原有煞車倍力器架構下，提供電動車輛所缺乏的穩定真空源作為煞車輔助。
- (2) 利用車輛移動時多餘的能量建壓，可回收煞車時的多餘能量，在一般使用條件下無額外耗能。
- (3) 提供輔助之電動真空泵，在低速或系統失效時仍可保有足夠真空進行煞車輔助。
- (4) 真空為儲備式輔助源，反應速度遠優於機械力輔助式，同時雙動力源設計可提升系統可靠度。
- (5) 本設計搭配往復活塞式真空泵浦於車速 40kph 以上即可提供足夠真空供煞車輔助用，無須額外耗能。

5. 致謝

承蒙經濟部技術處科技專案計畫(100-EC-17-A-04-02-0803)經費協助，使得本研究得以順利進行，謹此致謝。

6. 參考文獻

- [1] Rudolf Limpert 著、高維山 譯、林筱增 校，煞車系統設計及安全性，科技圖書，2004。
- [2] Thomas D. Gillespie 著、林筱增 譯，車輛運動力學，科技圖書，2002。
- [3] <http://www.yutai.tw/>, Yutai Web site, Retrieved April, 2011.
- [4] <http://www.conti-online.com/>, Continental Web site, Retrieved April, 2011.