

## MHEV- 48V 車輛電壓系統發展與應用

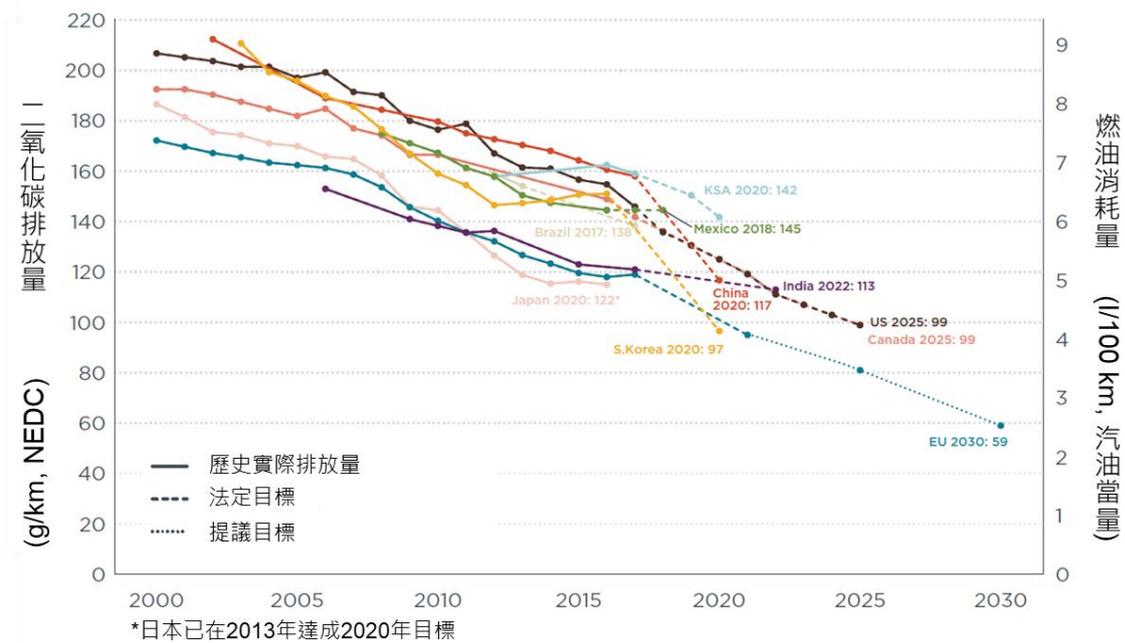
台灣亞太產業分析專業協進會 106 年認證產業分析師 蔡宜君

48V 電壓系統概念自 2011 年由五大德系車廠 Audi、BMW、Daimler、Porsche、VW 共同提出，為滿足歐盟委員會對於二氧化碳(CO<sub>2</sub>)的排放規定，相較於純電動車(Battery Electric Vehicle, BEV)受制於電池系統的高售價及充電站基礎設施普及、重混式複合動力車(Full Hybrid Electric Vehicle, FHEV)因高電壓系統所需額外增加的電氣安全保護措施而增加的複雜度及成本，48V 電壓系統導入提供一個兼顧減少二氧化碳排放及降低成本的經濟型解決方案。然而，直到 2016 年起才見採用 48V 電壓系統的輕混式複合動力車(Mild Hybrid Electric Vehicle, MHEV)量產問世，除考量車廠及供應商開發及測試時程外，一些內/外部驅動因素使得推行 48V MHEV 漸成車廠優先考量的策略，自此國際車廠針對 48V 電壓系統的發展、車內應用及導入車款亦越見成熟及多元化。

### 一、48V 電壓系統推行驅動因子

#### (一) 全球二氧化碳排放及燃油經濟性標準日漸趨嚴

目前全球的乘用車二氧化碳排放規範仍以歐盟在 2020/2021 年的 95g/km 排放量最為嚴苛(圖 1)，不僅如此歐盟已進一步規範 2025 年較 2020 年基準下減排 15%(相當於 81g/km)及 2030 年較 2020 年基準下減排 37.5%(相當於 59g/km)。以 2020/2021 年規範來說，每多 1g 排放量將對當年度銷售的每輛新車罰款 95 歐元，對於以歐洲為主要市場的車廠來說，將形成巨大的壓力。以德國 VW Group 為例，2018 年平均二氧化碳排放量為 122g，以其車隊平均重量換算 2020 年目標為 96g 仍有 26g 的差距，概略以其 2018 年歐洲市場乘用車新車銷售 366 萬輛換算，若未再進一步縮減碳排量將會被處以高達 90 億歐元的罰鍰，相較於 VW 集團 2018 年的營業利潤為 139 億歐元，侵蝕利潤達 65%，將對車廠營運形成巨大的威脅。



資料來源：ICCT(2019/01)

圖 1：全球乘用車二氧化碳排放目標

## (二) 車用發電機及 12V 電池電量漸不足以負擔車用負載所需

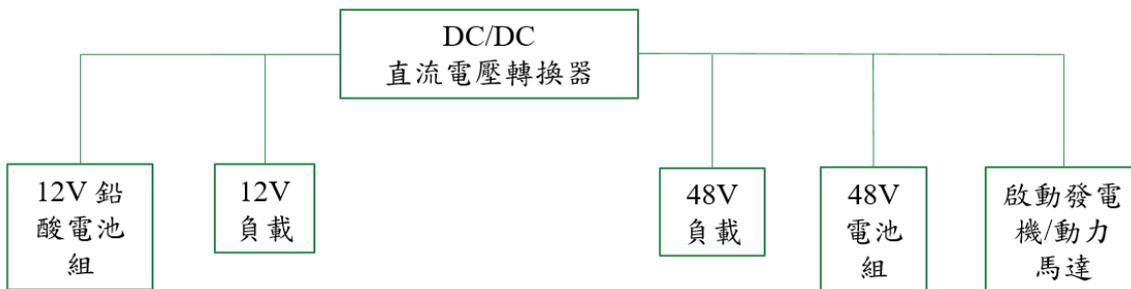
一般乘用車發電機發電量約落在 40~120A，12V 電壓系統需要支援持續性電子負載(如電子加熱系統、引擎冷卻風扇、擋風玻璃加熱系統、車載娛樂等)以及臨時電子負載(如車窗及座椅調整馬達等)。近年來車輛上配備逐漸由機械能或是液壓轉換為直接以電力驅動及電子操控，如動力輔助轉向由引擎驅動的液壓系統走向以馬達驅動的電動動力輔助轉向等，不僅可以增加能源轉換效率，同時還可減少所需零組件體積。隨著車用電子產品越來越多，所需的負載功率也隨之上升，為了滿足大量新增的設備需求，以 BMW 7 系列為例，其發電機最大發電量可達 250A。然而除了在傳統配備驅動方式轉換外，為了提供較佳的動力表現、乘客舒適性或是各類先進駕駛安全輔助需求，12V 鉛酸電池及發電機電量已不足以負擔更多的電力供應需求。

### (三) 減輕車內元件體積及重量

當車內系統電壓從 12V 提升到 48V 時，在個別車用負載功率未提升的狀態下，電流降為原先的 25%，此將影響所用的電氣線束規格(截面積)從而減輕重量及成本；此外當車內零組件由液壓轉換為電力直接驅動後，所減少的液壓組件或驅動皮帶等，將進一步減輕整車的體積及重量，進而增進燃油效率及減少尾氣排放。

## 二、48V 電壓系統零組件及應用發展趨勢

48V 電壓系統的基本組成零組件包含：48V 電池系統及 12V/48V 直流電壓轉換器，用以在 12V 鉛酸電池和 48V 電池之間的升降壓轉換。原則上，車內的所有電氣配備皆可從 12V 轉換成 48V 電壓，然而此須全面更換車內系統的電氣規格、車輛內線束的使用規格及走線配置，將牽涉到所有零組件供應，影響層面甚鉅，因此在 48V MHEV 的初始導入階段中，車廠採用 12V 及 48V 電壓同時並行的架構(圖 2)，且僅將大功率消耗及具明顯效益的系統及配備轉換成 48V 電壓。在 48V 電壓系統導入階段中，切換成 48V 電壓的車內系統應用可包含動力系統、底盤系統及提供駕乘舒適性系統。



資料來源：工研院產科國際所 ITIS 研究團隊(2019/09)

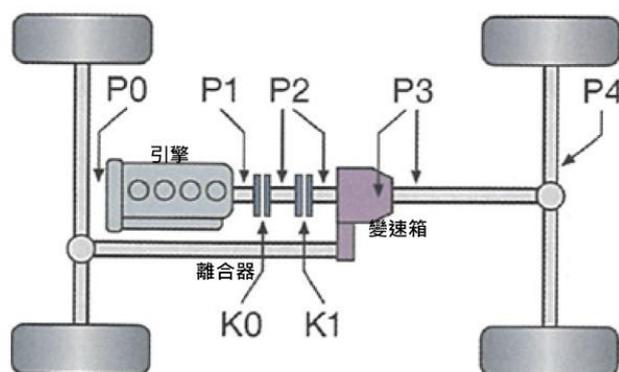
圖 2：12V/48V 電壓並行系統示意圖

### (一) 動力系統應用

動力系統與降低二氧化碳排放量及節省油耗直接相關，為所有供應 48V 電壓 MHEV 的基本應用，其主要為動力馬達、提升內燃機引擎輸出性能或減少有害物排放的零組件。

## 1. 動力馬達

動力馬達為 48V 動力系統應用中的關鍵零組件，而其導入及配置(系統整合方式)則為各家供應商關鍵技術，不同的配置位置 P0~P4(圖 3)可為車輛帶來不同程度的煞車能量回收及電力輔助驅動能力。P0 位置為與引擎以皮帶串聯的皮帶驅動啟動發電機(Belt-driven Starter Generator, BSG)是最容易與現有燃油引擎動力系統整合的架構，可提供煞車能量回收(Recuperation)及怠速啟停功能(Start-stop)根據馬達功率大小和整車重量，可節省約 8%~15%的二氧化碳排放量。P1 為馬達在離合器前的整合式啟動發電機(Integrated Starter Generator, ISG)，消除皮帶的限制，可提供更靈活的馬達輸出。P2 可區分為馬達與變速箱輸入軸整合(Crankshaft Motor Generator)或與變速箱整合(Gearbox Motor Generator)兩種態樣，除了可提供煞車能量回收及怠速啟停功能外，亦可有限度的以馬達直接提供動力輸出增進加速時的輸出表現，可節省達 10%~22%二氧化碳排放量。P3/P4 則是馬達置於變速箱輸出軸/或驅動軸上，可提供不同行駛情況下的動力輸出表現，並在低速下直接以純電力驅動輸出，可節省達 10%~25%二氧化碳排放量。



資料來源：Fourin(2018/11)

圖 3：48V MHEV 馬達配置位置

以目前車廠及供應商提供的 48V 電壓系統動力馬達來看，P0 為最普遍的馬達置放位置，與現有系統整合最簡易且導入成本最低，導入車款如 Audi A8、Mercedes-Benz C200；P2 雖增加整合的複雜度及成本，但可提供更多的燃油節省及增進輸出表現，為成本/效益較佳的選擇，供應廠商如 Valeo、BorgWarner 等；而 P3 以上系統複雜度及成本增加，但可增加煞車能量回收能力及提高純電力馬達輸出。近來亦有供應商提出在 48V MHEV 中採用雙馬達 P0+P2、P0+P3 或 P0+P4 的概念，以 P0 馬達提供較佳的怠速啟停舒適度並搭配 P2/P3/P4 強化的煞車能量回收及低速純電力驅動，以節省燃油消耗及降低二氧化碳排放量。

## 2. 其他採 48V 電壓的動力系統相關零組件

電動增壓器(Electrical Supercharger/E-Compressor/E-Booster)：在引擎初始運作階段或在低轉速而尚未建立足夠的引擎排放廢氣驅動渦輪增壓器時作動，以消除在剛加速時的遲滯現象(Turbo lag)。一般電動增壓器功率約落在 3kW~7kW，以 Audi SQ7 的 Electrical Supercharger 約消耗 7kW 功率，若維持電流 145A 不變，12V 的電壓僅能提供 1.75kW 能量而不足以推動電動增壓器。

電動加熱觸媒(Electrically Heated Catalyst)：內燃機引擎運作會產生 NO<sub>x</sub> 排放，一般用以尾氣處理的觸媒需在一定溫度下才能達到較佳的轉換，以往都是透過引擎排放的高溫氣體加熱到達該溫度，但在市區交通情境下，具怠速啟停功能的車輛會頻繁地關閉引擎操作，而使得引擎排放氣體溫度不足以使觸媒反應達到良好轉換效率，反而排出更多有害氮氧化物(NO<sub>x</sub>)氣體，因此透過瞬時額定功率約 3~3.5kW 的電動加熱觸媒，得以使觸媒轉換處於最佳工作溫度區間。

廢氣循環泵(Exhausted Gas Recirculation Pump)：與渦輪增壓器搭配的廢氣循環泵，可控制再循環至內燃機引擎燃燒的排氣量，以減少 NO<sub>x</sub> 及 CO<sub>2</sub> 的排放以及燃油消耗。藉由 48V 電動馬達驅動，可不受引擎轉速影響，達到整個運轉區間內更精確的流量控制。

### (二) 底盤系統應用

底盤系統的電子化，可在系統內零組件需要被驅動時才使用電力，相對液壓系統可增進系統的能源使用及轉換效率，除此之外，電動馬達在驅動元件時，反應速度較液壓系統快，可立即適應動態需求做調整，由於個別底盤系統元件需要適應高度動態及突然的行駛情境，使得其驅動功率峰值時可達千瓦(kW)等級，12V 電壓系統已無法同時滿足這些零組件的負載需求而限制其最佳效能輸出，採用 48V 電壓不僅可滿足動態、峰值的負載需求，並可降低零組件及線束上通過的電流進而減少在電力路徑上的能量耗損，包含主動式側翻穩定裝置、主動懸吊/減震器、電子動力轉向系統、後輪驅動、電子車身穩定控制系統(Electronic Stability Control, ESC)等，都是車廠評估轉換為 48V 電壓驅動的主要標的。

主動式側翻穩定裝置(Active Roll Stabilization)：在行駛不平的路面上或轉彎時，主動式側翻穩定裝置的電動馬達(最大功率約 1.5kW)分別將串聯兩側前/後輪的前/後軸防傾桿分離並相對扭轉，使得車身能夠保持水平並平行於路面。相較於傳統的液壓懸吊系統，電動式的側翻穩定裝置不僅動態反應更加迅速且可在低速時驅動。

電子動力轉向(Electric Power Steering, EPS)：電子動力轉向系統在一般直線道路行駛平均約消耗 0.03kW 功率，然而遇到突然轉向時最大功率將可達 1kW~1.4kW，若是 3.5 噸的小貨車可達 2kW，若採用 12V 電壓則電流達 170A。在採後輪轉向並同時配備 EPS 的車輛中，轉向系統需同時控制前後軸，因此將有更高的電力需求，導入 48V 電壓可降低電流負載。

主動懸吊系統(Active Suspension system)：以 Audi A8 的主動式懸吊系統為例，每個車輪內皆配備一個以 48V 驅動的馬達，當行駛在不平整的道路上而使車身往下對車輪施力時，該系統皆會施加作用、將能量回收並回存於 48V 電池內。48V 馬達的平均功率約落在 10~200W，低於同類型的液壓系統，但在極端的行駛條件如賽道中，亦可能產生峰值達 6kW 的負載需求。

### (三) 提升駕乘舒適性應用

提升駕乘舒適性應用包含車窗除霜/除霧器(Windshield defroster/defogger)以及加熱通風空調系統(Heating Ventilation and Air Conditioning, HVAC)等。通常除霜/除霧的功能需求在短時間內可以達到效果，此增加零組件驅動功率的峰值可達 1kW 以上，尤其當引擎未能作動時，無法使用引擎的熱空氣，除霜/除霧器的使用頻率將更加頻繁，將加重原有 12V 電壓系統的負載。傳統空調壓縮機透過皮帶由引擎驅動，僅能在引擎運轉時運行，而複合動力車或純電動車所採用的電子空調壓縮機，則可在引擎關閉時獨立運行，大約消耗 1.8kW~2.4kW，目前已有 Mercedes-Benz S 及 E 系列 MHEV 導入 48V 的空調壓縮機。

## 三、結論

因應歐盟 2020/2021 年的二氧化碳排放法規及未達標的高額罰款，車廠莫不加緊推動車輛電動化的腳步，相較 BEV、PHEV、FHEV，48V MHEV 提供車廠不僅相較傳統燃油車輛在零組件上較低的導入複雜度及成本；亦可靈活的逐步擴展更多 48V 電壓應用，提供消費者更佳的動力輸出、駕乘體驗卻又能符合法規要求的解決方案。2018/2019 年，除了以往在推廣導入 48V MHEV 最為積極的德系車廠 Audi、Mercedes-Benz 外，亦可看到各家國際車廠如韓系 Hyundai、Kia、美系 FCA、Ford 及中系車廠吉利等，皆推出首部 48V MHEV 車款試水溫，可以想見當越多車廠投入資源推廣 48V MHEV 及市面上越多車款提供消費者選擇時，48V MHEV 將有機會成為未來市場上的主流車款，建議國內相關業者應及早注意所供應的零組件應用是否跟上轉換成 48V 電壓的列車。

(本文作者為工研院產科國際所執行產業技術基磐研究與知識服務計畫產業分析師)

原文出處：ITIS 智網 <http://www.itis.org.tw/>