

# 燃料電池 與 電動車輛



電動車輛的開發與應用，  
雖經過百餘年來的努力，  
仍然無法獲得消費者的青睞。  
拋棄傳統的電池，  
利用燃料電池與電動車輛的結合，  
將會激發出什麼樣的火花？  
是否會有反敗為勝的機會？

■ 鄭耀宗

電動車的發展歷史幾乎與引擎車同樣久遠，但是在速度與行程方面，都不易滿足消費者的需求，因此一直無法成為普遍使用的大眾化交通工具。

二十世紀可以說是石油的世紀，石油的使用帶動了運輸、科技與文明的進展，全球各型汽車累計達六億輛以上，消耗了大量的汽油，也在各地造成引發環境危機的空氣污染。

由於能源與環境的雙重壓力，電動車的開發與應用在一九七〇年代重新受到各國政府的重視與支持。根據多年來的研究與推廣結果，使用鉛酸、鎳氫等電池的電動車，由於行程不足、充電麻煩等問題，只能做為自行車、代步車、高爾夫球車、機場搬運車、室內堆高機等使用，而無法作為路面上的主要交通工具，例如汽車、機車與巴士等。如果希望電動車能夠真正地商業化，則須採用新型的電池技術，才可大幅提升電動車的機能，增加消費者的接受程度。

燃料電池具有零污染、高效率、低噪音、低振動，以及起動快、壽命長等諸多優點，適合做為取代高污染與低效率的傳統汽、柴油引擎的選擇，因而成為近年來美、日、歐等國爭相研發的重點科技，也成為這些國家獎勵與推廣的產品。由於近年來燃料電池的技術突飛猛進，相關材料及零組件的成本亦持續下降，使燃料電池電動車的商業化可能性大為提高。



## 燃料電池

一八三九年，英國的威廉·葛羅夫（William Grove）利用水電解的逆向操作，將浸在硫酸溶液中的一對白金電極接上負載後，氫氣與氧氣即可反應產生直流電流，因而發明燃料電池。這種採用電化學發電的技術，經由後人的繼續研究，發現除酸性電解質外，在鹼性、熔融碳酸鹽與固態氧化物等電解質中也可產生反應，甚至以酸性固態高分子膜做為電解質也有同樣的效果。雖然都是利用氫氣與氧氣的作用，由於使用的電解質不同，因而先後發明了許多種類的燃料電池。

隨著研究的進展，逐漸瞭解甲醇、乙醇等也可取代氫氣做為反應物，但是使用氫氣的反應效率較高，因此目前主要的應用都是集中在氫氣系統。即使是採用甲醇或天然氣的系統，大部分都是先利用重組器將燃料轉換成含有氫氣的重組氣，再與氧氣進行電化學反應。至於反應物中的氧氣可以直接取自空氣，只有在鹼性燃料電池中，由於空氣中的CO<sub>2</sub>會與鹼性電解質直接發生化學反應，使電解質失去效用，因此需要採用純氧系統。

在各種燃料電池中，質子交換膜燃料電池，簡稱PEMFC，具有反應溫度低、能量密度高、材料選擇廣等優點，成為現行各國研發與應用的選擇重點。這種電池的電解



現代的都市到處充滿汽車或機車，雖然提供交通上的便利，但是也帶來嚴重的空氣污染。

燃料電池組中的單電池是由稱為電極膜組(MEA)的膜電池組體，以及陰極與陽極的氣體擴散層所組成，電極膜組的厚度可能不到100 μm，卻是電化學反應發生的地方。

質是質子交換高分子膜，是一種磺酸化的氟碳系高分子，不但堅固耐用，而且在吸收水分後就可成為氫離子的好傳導體。

在膜電池組的兩側，分別塗布一層含有白金觸媒粉末的碳膠，便可產生陽極與陰極的功能，這種組合稱為膜電池組體。膜電池組體中的白金碳膠就是觸媒層，氫氣的氧化與氧氣的還原反應都是利用白金觸媒加速進行。在觸媒層的兩側，必須分別利用稱為氣體擴散層的碳紙或碳布緊密夾住，如此即可形成一個單電池。

但是一個完整的單電池組，除前述的組件外，尚需加上從外側導入氫氣的陽極導氣流場板與導入空氣的陰極導氣流場板。一般流場板都是

採用具有導電性與氣密性的碳材，可以傳導電流，但是反應氣體不會穿透洩漏。

質子交換膜燃料電池的作用原理是將氫氣通過導氣流場板導至陽極，在陽極觸媒的作用下，一個氫分子會分解為兩個質子和兩個電

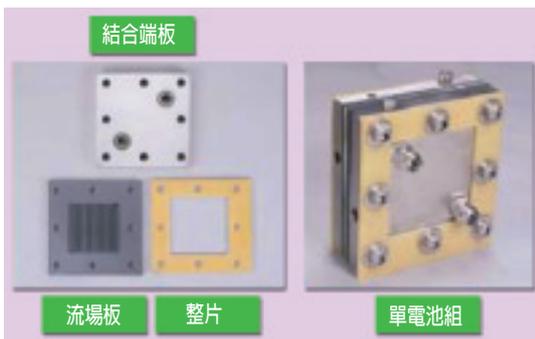
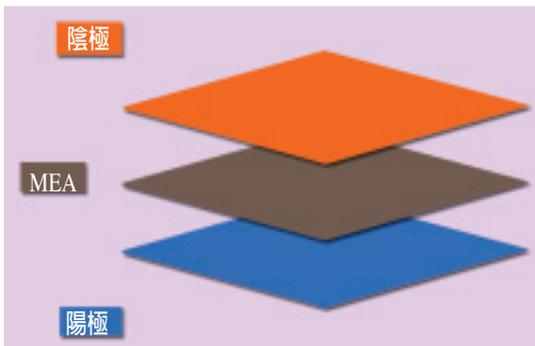
子。這時，電子會由具導電功能的流場板導至外面，經由外部負載電路到達陰極而形成電流，質子則通過高分子薄膜到達陰極。在電池的另一端，氧氣亦通過陰極導氣流場板到達陰極，在陰極觸媒的作用下，氧分子與通過薄膜的質子和外部負載電路流入的電子，發生電化學反應而產生水及一些熱能。

燃料電池的反應物是氫氣與空氣中的氧

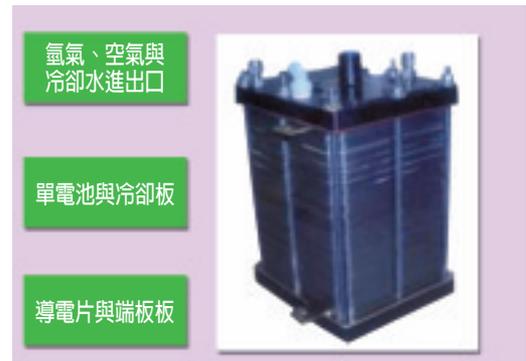
氣，生成物只有純水、直流電流及廢熱，這三種生成物都是可利用的資源，而且整個過程不會產生污染，因此是一種環保的發電裝置。此外，燃料電池利用電化學反應原理，發電效率較高，又可把所產生的廢熱在汽電共生系統中作進一步的利用，因此也是一種高效率的發電技術。

## 燃料電池組與儲氫罐

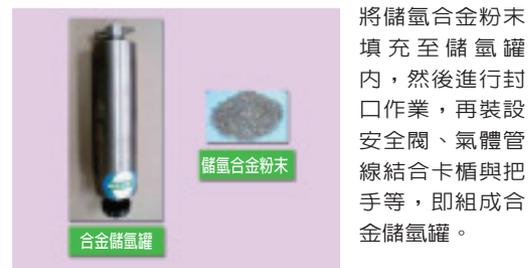
單電池的電壓太低，而且電量太小，無法加以利用，因此需要將許多單電池組成一個燃料電池組，才有實用的價值。現行電池組的組合方式係採用單電池串聯結合，如此可形成緊



單電池的兩側需要分別有氫氣與空氣的流場板，也需要防漏墊片，以組成一個可實際發電應用的單電池組。



燃料電池組包括許多串接的單電池與冷卻板，上、下側各有引出電流的導電片與緊密結合用的端板，端板的外側有氣體與冷卻水等管線的進出接頭。



將儲氫合金粉末填充至儲氫罐內，然後進行封口作業，再裝設安全閥、氣體管線結合卡榫與把手等，即組成合金儲氫罐。

密的結構，也可產生較高的電壓。在電池組中，氫氣與空氣的流動與流場設計非常重要，要能在導氣板中提供氣體流過燃料電池的管道，不但要盡量達到均勻地流過所有單電池反應面的效果，也要考慮減少壓降與帶出反應所生成的水分。

在反應時所產生的熱量，目前都是利用空氣

或冷卻水流通方式，以達到散熱的目的，因此相鄰單電池之間需要插入冷卻板，以做為空氣或冷卻水的通路。質子交換膜燃料電池組的冷卻板，都是採用與導氣流場板相同材質的純碳板或摻有高分子的複合碳板，如此材料與加工單純化，而且可維持整體電池組的導電功能。在電池組的兩端，分別加裝金屬導電片以引出電流，並利用端板與螺絲產生緊密結合的效果，端板上則可安排各種氣體與冷卻水的接頭。

燃料電池系統的核心組件是電池組，另一項重要的組件是燃料供應裝置，藉此才能長時間產生可靠的電力。目前在世界各地試驗或展示的燃料電池電動車，主要的燃料大多採用氫氣；其中，巴士與汽車使用高壓儲氫筒，可以行駛較長的距離，至於機車與自行車，則是採用低壓合金儲氫罐。

根據美國能源部的研究指出，金屬氫化物是現行最安全的氫氣貯藏方式，小型車輛使用合金儲氫罐的理由主要是安全性的要求。儲氫鋼瓶的壓力大多在200個大氣壓以上，而一般合金儲氫罐多在10個大氣壓以下。此外，高壓鋼瓶只要發生洩漏就會瞬間釋出大量的氫氣，而合金儲氫罐的洩漏速率緩慢較無危險性。但是合金儲氫罐的缺點在於重量較重與合金較貴，在需要使用大量氫氣燃料的大型車輛中就不合適。如果考慮重量減輕與製程簡易，則罐體材料可採用鋁合金；若著重強度時，則選擇不銹鋼。

## 燃料電池引擎系統

傳統的車用汽油或柴油引擎，除引擎本體之外，還需要有油箱、油泵、濾油器、空氣濾清器、化油器、噴嘴與點火裝置等組件，同時排氣管裝有消音器與觸媒轉化器，而且水冷式引擎還需要冷卻水系統，因此整個引擎系統相當精巧與複雜。

採用鉛酸電池、鎳氫或鋰電池的電動車，主要的動力組件是電池組、充電器、電力控制

器與馬達等，因此動力系統較為簡單。燃料電池組的反應物需要由外界供應，必須有提供氫氣與空氣的系統，同時要裝設電池組冷卻系統，因此燃料電池電動車的動力系統比一般電池電動車較為複雜。

將電池組、儲氫罐、馬達與其他相關組件加以整合，便可組成燃料電池引擎系統，以做為燃料電池電動車的動力來源。這種系統可分為水冷式與氣冷式兩種，前者的優點是能源效率較高，缺點是較為複雜，適合應用於較大型系統，如汽車與機車。後者的優點與缺點恰與前者相反，可以裝設於較小型系統，如自行車與代步車。

以電動機車用水冷式燃料電池引擎系統為例，可採用數支合金儲氫罐供應氫氣，這些儲氫罐安裝在夾套式氫罐插置承座中，並利用電磁開關啟動氫氣流，再經過減壓閥流入電池組進行反應。這種系統的氫氣管線都採用密閉式，亦即強迫所有流入電池組的氫氣都經由電化學反應消耗掉，但是為排除累積在電池組中的不純物與水分，需要裝設一個定時開啓的氫氣排放閥。

如果要提高反應效率，可另裝設小型氫氣泵，將電池組中的氫氣抽出，再由氫氣管線進口端送回電池組，造成氫氣攪動與循環的作用。在空氣供應方面較為單純，由於電池組可採低壓操作方式，因此一般選用直流、低壓與風量大的鼓風機供應空氣，鼓風機的前端需要裝設過濾器，以防止灰塵、雜物進入電池組。

電池組在開始發電後，溫度會逐漸升高，這時就要靠冷卻水來控制溫度。用一個低流量水泵，把冷卻水從水箱抽出，流經儲氫罐插置承座的夾套、電池組的冷卻板與散熱器中的熱交換盤管，最後再回到水箱，以維持冷卻水的循環。



車體經過重新設計的燃料電池電動機車，電池組在座墊的下方，四支儲氫罐在前車殼架的內部。

兩人座小型燃料電池電動汽車，採用兩個五千瓦功率的電池組，安裝在車前蓋下方，至於燃料為高壓儲氫鋼瓶，可置於座位下方。



利用現有市售鉛酸電池電動機車改裝的燃料電池機車，電池組在座墊的下方，兩支儲氫罐在腳踏板的下方。

由於電池組在反應時會放熱變燙，而儲氫罐在放氫時會吸熱變冷，冷卻水循環系統可巧妙地利用這種特性，將經過電池組時吸收的熱量送到儲氫罐插置承座的夾套以加熱儲氫罐。這一系統不但維持儲氫罐的放氫速率，而且可有效保持電池組操作溫度。

當電池組在高功率放電時，儲氫罐吸收的熱量不足以降低冷卻水的溫度，這時就須啟動散熱器的風扇，以提供額外的冷卻效果。此外，在冷卻水的管線系統中，裝設有一分流支管，使部分水流經過濾水器與樹脂交換裝置，因而維持冷卻水的純度。

當燃料電池的反應持續進行後，也就是電池組的溫度升高時，反應氣體的相對濕度隨之降低，因而高分子電解質膜所含的水分會逐漸

蒸發。這種現象輕微時會導致電池組的電壓下降，嚴重時氫氣會直接穿透過高分子膜與空氣混合燃燒，造成部分電池的損毀。為避免發生這種結果，在空氣流入電池組之前，需要經過加濕裝置，以提高空氣濕度。至於加濕裝置的設計有許多種方法，例如利用反應後含有大量水氣的空氣，在流出電池組後，經

由透水膜使進入電池組的空氣增加濕度。

整個燃料電池引擎系統的運轉與保護，都是依賴電力與操作控制器。在系統開始啟動時，先利用一顆小型二次電池提供驅動電力，包括開啓氫氣閥與轉動鼓風機等，等到電池組

開始發電後，即可由電池組提供各種需要的電力。燃料電池引擎系統的體積、重量、功能與控制，必須達到節省空間、減少重量、提升效率與簡易操作的效果，因此需要有精巧的系統設計與適當的組件整合，才能符合實用的要求，並讓使用者能輕鬆地駕駛與操控。

## 燃料電池電動車與周邊系統

燃料電池引擎系統只是電動車的動力部分，尚需要搭配車架、車輪、煞車、懸掛系統、傳動系統、照明與電力系統、儀表與操控系統等組件，才能完成整部車體的設計與組裝。

目前研發中的燃料電池電動車，動力系統有兩種，包括只用燃料電池的車種，以及同時裝置燃料電池與二次電池的複合電池車種，其中主要的差別在燃料電池功率的大小。以電動機車為例，如果選擇功率為二千瓦的燃料電池組，則須配合鉛酸或鋰電池組以組成複合電動車；但是選用功率五千瓦的燃料電池組時，即能符合一般情況的加速與爬坡需求，不需仰賴額外的二次電池提供輔助動力。

以燃料電池電動機車為例，可利用現有市售電動機車的車體進行改裝，即以燃料電池引擎系統取代原有的鉛酸電池組。由於燃料電池組的體積與重量並不大，能夠安裝在座墊底下置物箱下方的空間，鼓風機、水泵與控制器裝設在置物箱內，水箱與散熱器懸接在後車輪與後車架之間，合金儲氫罐與插置承座則利用腳踏板下側的空間。將這些組件固定後，即可進行空氣、氫氣與冷卻水等管線與控制閥的安排與裝設，以及溫度、壓力感測器與電線的接合，最後再經過測試與調整，就可組成一部完整的燃料電池電動機車。

但是這種機車是牽就已有的車體組成，不易達到實用化的要求，例如車體前後重量分布不夠平均、儲氫罐體可能與路面突起物碰撞、

置物箱已被占用無法放置雨衣與安全帽、腳踏板底下只能容納兩支儲氫罐造成續航力不足等，因此只能當做單純的研究與展示使用。

如果要發展實用化與商業化的燃料電池電動機車，必須針對燃料電池引擎系統的特性與構件，重新進行車體與車型的分析、規劃、設計等工作。例如將座墊下側的車體擴大，以容納電池組、鼓風機、控制器等，且可回復置物箱的空間；同時將前車殼架的車體擴大，增加的空間可裝設散熱器與四支合金儲氫罐。若將機車車體與燃料電池引擎系統作更佳的整合，改善重心配置與使用性能，增加可用空間與行駛距離等，將更具有實用的潛力。

一般汽車的動力負載大多為機車的10倍以上，對於燃料電池引擎系統的性能與效率要求更為嚴格，因此設計方法也遠較機車複雜。其中較簡單的車種是兩人座型燃料電池電動汽車，稱為近鄰電動車，主要做為社區往返或短距離代步使用。由於這種車輛的時速要求在30公里以內，可以使用功率10千瓦以下的電池組，而且燃料耗量與行駛距離不遠，不需裝載大量氫氣。這種小型車的燃料電池引擎系統與前述的機車情況較為相似，只是並不使用儲氫罐，而是使用高壓氫氣鋼瓶。

燃料電池電動車上路後，緊接著的問題是要到何處加裝燃料，因此需要有燃料周邊系統的設置。如果是使用高壓氫氣鋼瓶的電動汽車，則需要普遍建立加氫站以補充燃料；若是採用合金儲氫罐的電動機車或自行車，則須有氫罐交換站提供服務。

以電動機車為例，機車用戶可選擇就近的交換站，並以空罐換取實罐後繼續行駛。交換站在收集空罐後，交給定期巡迴的氫罐運送車，同時換取實罐以繼續提供交換服務。運送車將空罐送回充氫工廠填充氫氣，並將實罐再度運至各個交換站。至於充氫工廠所需的氫氣，則來自氫氣製造廠。

由此可知，一個適合電動機車的完整燃料周邊系統，需要包括交換站、物流中心、充氫工廠與製氫工廠四個部分。由於車輛的使用數量大與分布地區廣，燃料周邊系統的建置，不但需要龐大的投資，而且需要相當的時間，所需的安全管理規範也需要積極建立與嚴格執行。

## 商業化的發展前景

燃料電池電動車的技術已經相當成熟，能否商業化的關鍵在於消費者的接受程度，亦即在使用性能、壽命、價格與燃料周邊系統等，需要讓消費者能夠滿意。目前燃料電池、相關材料、系統組件、車輛製造與燃料供應等廠商，正在共同努力解決這些問題，但是也需要政府的支持、獎勵與補助，才能逐步營造出初期的市場。

只要商業化的進展能夠成功，在大量生產與使用後，車輛的性能就能不斷提升，而且價格也可以持續下降，此時燃料電池電動車就可逐漸全面取代引擎車，並可造就一個擁有清潔空氣的都市空間。美國、日本與歐洲已經在政府的支持下，與各國的燃料電池相關產業廠商合作，紛紛成立燃料電池夥伴聯盟，進行燃料電池電動車的推廣與教育。這些國家的政府部門也都在積極提供獎勵與減稅等補助措施，並協助建立初期的燃料周邊系統。

我國政府對燃料電池科技的推動也是不遺餘力，除利用能源基金與科技專案補助研究機構、大學與產業界進行技術開發之外，並在今年正式成立台灣燃料電池夥伴聯盟，希望能加速推廣產品的實際應用。經由這些努力，期望台灣在未來全球燃料電池電動車的商業化進展過程中，能夠積極參與和貢獻，並創造出優異的技術、新興的產業與美好的未來。 □

鄭耀宗

亞太燃料電池科技股份有限公司