



作者：徐業良(2002-02-01)；推薦：徐業良(2002-02-01)。

附註：本文發表於汽車購買指南雜誌，2002年三月號，史丹福專欄。

## 談燃料電池動力汽車發展現況

那天在學校裡，難得接到雜誌社總編，好久不見的林大維兄的電話。先是哈拉了一陣育兒經，接著大維兄試探性地問了一句，“燃料電池相關技術你熟不熟？”

本人性喜吹牛，自然按捺不住大吹了一番本校（元智大學）是國內燃料電池相關研究的重鎮，本系（機械工程學系）更是擁有堅強的燃料電池研究團隊等等等…

“那好極了！”電話那端的大維說，“前一陣子到美國 GM 參觀他們的燃料電池研究 program，拿回一大堆資料，馬上快遞給你闡釋闡釋，下禮拜交稿！”

達到目的之後大維兄心滿意足地迅速掛上電話，我甚至還來不及跟他說，我正巧不是本系堅強的燃料電池研究團隊中的一員。

資料當天下午就來了。這個月的史丹福專欄，便是我可憐兮兮地啃了一大疊 GM 燃料電池 program 的“讀書報告”。

先前史丹福專欄也談過一兩次燃料電池的技術，這裡針對燃料電池動力汽車發展現況和大家聊聊。故事得要從頭說起（GM 一大疊資料裡，故事也是從頭說起），燃料電池是什麼？

燃料電池—fuel cell—不是電池，而是一種“吃氫氣的化學發電機”。最早不知道是誰翻譯燃料電池這個詞兒的，不過說習慣了一時倒也想不出更貼切的中文翻譯。

那麼，燃料電池，吃氫氣的化學發電機，和一般其他發電機有什麼不一樣？

第一個不一樣的地方，燃料電池吃的是氫氣，產物是電力和水（還有一些熱），是一個非常乾淨的發電機。現今主要的能源都是碳和氫的化合物，從木柴、煤炭，到石油、天然氣，“去碳化(de-carbonization)”一直是追求乾淨能源的趨勢，碳氫化合物去掉碳—使用氫氣為燃料自然是追求乾淨能源的終極目標。

第二個不一樣的地方，燃料電池是“化學”發電機，有別於其他機械式的發電機，沒有會動的機械元件，也不需要燒油燒開水什麼的，因此體積可以縮得很小，是一個非常好的“可攜式電源(portable power)”，汽車、機車、手提音響、乃至於筆記型電腦、大哥大都可以用燃料電池。

在汽車的應用上，GM 早在 1968 年便推出了採用燃料電池為動力的原型車“GM Electrovan”，之後便不知何故沈寂了近三十年，1997 年才又開始陸陸續續推出好幾部燃料電池動力的原型車。也是差不多 1996、1997 開始，燃料電池動力車輛的研究成為眾家車廠的大熱門，GM 資料中列出的競爭車廠就包括 Daimler-Chrysler、Ford、Mazda、Toyota、Renault-Nissan、Honda、Peugeot-Citroen、VW、Daihatsu、Mitsubishi、Hyundai、Fiat 洋洋灑灑十幾家車廠，都已經有燃料電池動力的原型車。另外還有不少家車廠著眼於燃料電池在公共汽車的應用。

除了汽車上可攜式電源的應用外，燃料電池乾淨、小型化的特性，也帶來了許多新的可能性，其中頗有革命性的是所謂“分散式發電廠(distributed stationary power generation)”的概念。目前發電的方式都是採用大型、集中的方式，好處是發電廠帶來的危險與造成的污染用集中管理的方式比較容易，但是大電廠發電供應到用戶端所需要的輸配線路是很大的成本，而在輸送過程中又會造成大量電力損失。相對的，使用燃料電池作分散式發電，每個公司、學校、大樓角落裡就可以放一台燃料電池供應自己所需要的電力，似乎是非常聰明的主意，因此更多的廠商把重點放在開發這種分散式的小型燃料電池發電機。

回到汽車的應用上來，燃料電池被視為汽車最有希望的替代能源。酒精車、瓦斯車、電動車、太陽能車等等各種替代能源車輛的發展已經很久了，但一直到今天都還沒有一部能夠真正取代汽油引擎的車子。對於燃料電池動力車，各家車廠倒是極度看好，大家都幾乎肯定未來一定會有使用氫燃料的車子，只是時間早晚的問題罷了。

GM 最新的一部燃料電池動力原型車“Hydrogen 1”，公元 2000 年來了一個環遊世界的旅行，從加州首府沙加緬度出發，到北京（應該是“飛”過去而不是開過去的）、雪梨（還參加了雪梨奧運）、布魯塞爾，回到美國底特律，再到亞利桑納作了許多測試。這部車目前已經累積了 12,000 公里，GM 宣稱有超過 1000 位各地的政治人物、媒體、科學家開過這部車，似乎要強力宣示燃料電池動力的車子並非只能在展覽場展示不切實際的原型車，氫燃料車的時代即將要到來。

那麼目前為何還沒看到市場上推出燃料電池動力的車子？

目前的問題可以從燃料電池動力汽車的技術面，和改用氫燃料所需之“基礎環境 (infrastructure)” 兩個面向來討論。

使用氫燃料所需之基礎環境，簡單的說，就是您的汽車從加汽油到改加氫氣，所需要加氣站、輸送氫氣、儲存氫氣等等的配合。這其中最大的問題並非技術上作不到，而是在於現有的基礎環境完全是為了汽油、柴油等設計，光是美國一地就有十八萬家加油站，整體投資以百億美元計，要更改成為加氫氣的基礎環境絕不是件容易的事兒。對於消費者而言，開車加汽油已經超過一百年，不管是加油的操作程序、成本、安全性都已經十分習慣，消費者是否能在短期內對氫燃料建立同樣的信心，恐怕是也個大問題。

這個基礎環境的問題像是一個連環套，汽車廠只能研發燃料電池動力汽車，使用氫燃料的基礎環境還是要靠能源公司（像是中油、台塑等）和政府共同投資建立。然而沒有使用氫燃料的基礎環境，汽車廠研發的燃料電池動力汽車不會被消費者接受，但沒有足夠的市場需求，能源公司和政府又不會有足夠動機大量投資建立使用氫燃料的基礎環境。

汽車廠沒有辦法開發使用氫燃料的基礎環境，但是汽車廠可以作的，是開發從汽油燃料轉型到氫燃料的中介車種。像 GM 便提出了所謂“銜接策略(bridging strategy)”，在不影響使用氫燃料的長期目標下，先行發展能使用汽油為燃料的燃料電池動力車。

噢，能使用汽油為燃料的燃料電池動力車？

您有點糊塗了，這裡要開始逐漸從基礎環境的問題進入燃料電池動力車技術層面的問題。第一個問題是，氫燃料從哪裡來？

氫燃料的來源可以有兩種方式，一種是電解水。

電解水？燃料電池不就是要吃氫氣產生電和水嗎？結果所需要的氫氣還要靠電解水來供應，還沒有發電便先用電，那不是完全沒有“發電”的效果了嗎？

電解水產生氫，聽起來的確似乎有些笨，但您要知道，能量是不減的，只是由一種形式轉變成另一種你更需要、更適合的形式而已，大電廠用火力、水力、風力、核能發的電，不能直接推動你的汽車，拿來電解水產生氫氣後，氫氣便可輸送到使用燃料電池的汽車上產生動力，整個程序也可以看成能量形式轉換的程序。

OK，您還是覺得有些笨。除了聽起來笨之外，當然這其中還有別的問題，像是氫氣的輸送、儲存、如何“加氣”、安全性等等。

前面提到現有的燃料像是汽油、天然氣等等都是所謂碳氫化合物，就是其中有碳又有氫的意思，所以另外一種取得氫的方式，就是經由“重組器(reformer)”把現有碳氫化合物燃料中的氫取出來。

如果在燃料電池動力汽車上也裝置一個重組器，能夠接受如汽油等碳氫化合物燃料，然後產生氫氣來供應車上的燃料電池，不就是前面提到的“能使用汽油為燃料的燃料電池動力車”了嗎？！

細節一些描述重組器在碳氫化合物燃料提取氫的過程。燃料、空氣、水進入了這個重組器，經過主反應器氧化、重組之後，初步產生的氣體大約包含 32% 的氫、9%

的二氧化碳、和 9% 的一氧化碳。這麼大量的一氧化碳當然不能被接受，接下來重組器還需經過一氧化碳減量、淨化兩道手續，把一氧化碳轉變成二氧化碳，最後產生的氣體大約包含 36% 的氫、18% 的二氧化碳、和 0.01% 的一氧化碳。

與使用汽油的內燃機引擎相比，使用重組器分解燃料產生氫氣再送入燃料電池發電這整個程序，效率（也就是能從汽油中取得多少能量實際拿來用）先天上就高得多，雖然還是有一氧化碳和二氧化碳等氣體產生，不過和內燃機引擎燃燒汽油產生的附產物相比還是乾淨得多。

重組器的技術要能夠實際應用在汽車上，當然還有許多實務的問題必須克服，像是重量、體積不能太大，才合適裝置在汽車內；啟動之後重組器不會立即開始產生氫氣，GM 在 1998 年完成的第一代重組器原型機“Gen I”，啟動後需要 30 分鐘才開始產生氫氣—您能想像每此開車都要“暖車”30 分鐘嗎？GM 在 2000 年完成的第三代重組器原型機“Gen III”已經將這個“暖車”時間縮短到 138 秒開始產生氫氣，4 分鐘左右能夠達到尖峰效率。

安全性方面“Gen III”是在燃料電池需要時才製造氫氣，製造出來便馬上被用掉了，免除了儲存氫氣或殘餘氫氣可能的危險。成本方面從“Gen I”到“Gen III”已經降低了 10 倍，不過 GM 估計成本還要再降低 10 倍才符合商業化的要求。另外重組器主反應器操作溫度大約是 700 度，因此常溫或低溫時是否能順利啟動也是個問題，GM 的“Gen III”重組器已能在冰點下反覆發動測試都沒有問題。在使用壽命方面，GM 的“Gen III”重組器已經通過了 1400 小時壽命測試。

談完重組器，最後談到應用在汽車上，燃料電池本身還有哪些實務的問題必須克服。其實和前面談重組器差不多，首先還是重量、體積不能太大，更明確地說，是其“能量密度”要大，也就是單位體積或重量可以產生的能量要大。GM 在 2000 年完成的第四代汽車用燃料電池“GM Stack 2000”，重量在 100 公斤，設計功率是 94 千瓦(126hp)，尖峰輸出功率是 129 千瓦(173hp)。而 GM 在 2001 年完成的第五代汽車用燃料電池(GM 資料中還沒有命名)，設計功率是 102 千瓦(137hp)，尖峰輸出功率是 129 千瓦，重量卻只有 81.6 公斤，能量密度比 GM 在 1997 年完成的第一代汽車用燃料電池高了六、七倍。

不過這裡要稍稍提醒一下，要和內燃機引擎車作重量比較的話，您得把燃料電池動力車的重組器、燃料電池、電動馬達三個東西的重量加起來，和內燃機引擎重量相比才公平。

接下來是低溫發動的問題，GM 的資料中有一個好玩的圖表，是 GM 對其所開發的各型燃料電池作零下二十度低溫發動測試的曲線圖。1998 年的曲線（GM 第二代的燃料電池）發動之後功率一直不超過設計功率的 30%，掙扎了 50 秒左右，便“熄火”了。2000 年的曲線（GM 第四代的燃料電池）發動之後功率“穩定成長”，但一直到 120 秒後還只有設計功率的 80%。比較起來 2001 年的曲線（GM 第五代的燃料電池）可說是“一飛沖天”，零下二十度低溫發動之後 30 秒左右就達到 100% 設計功率。

我想 GM 的工程師對這個成就一定很得意。不過加上前面提到重組器 2~4 分鐘才能產生氫氣，整個“暖車”的時間算起來還是要 3~5 分鐘。GM 設定的目標是重組器在 30 秒內達到 25% 功率，1 分鐘內達到 100% 功率，而燃料電池在 10 秒鐘內達到 100% 功率。

Mmmm，這樣算起來“暖車”的時間縮短到 1 分鐘左右，您還算能接受嗎？

最後，可能也是最大的問題，還是燃料電池的成本。從第一代到第五代，GM 已經把燃料電池的製造成本降低不少，零件的數目就少了 62%，但和前面提到的重組器一樣，成本還必須大幅降低才能符合商業化的要求，或者說車主的期待。

在燃料電池動力車之前，使用蓄電池的電動車已經發展了相當長久的時間，但是不可否認的，使用蓄電池的電動車相當失敗，完全不能得到車主接受。從這個失敗的經驗應該可以學到，車主在安全性、性能、方便性、成本等四方面，完全不會接受任何妥協，燃料電池動力車、氫燃料車要能獲得消費者接受，也必須要在這四方面讓車主得到毫無妥協的滿足。

寫到這裡，雜誌社總編大維兄交付的任務應該算是完成了。寫文章的資料是來自 GM，所以寫了一大堆 GM 的東西，好像在幫 GM 作廣告，但是有 GM 這些實際的案例、數據，也讓我對燃料電池在汽車上應用實務層面的發展現況與問題瞭解不少。

說不定我可以毛遂自薦，加入本系“堅強的燃料電池研究團隊”呢！

祝新年快樂，馬到成功！