

# 由碳能朝向 氫能的 燃料電池

能源工程及環境保護

關係著二十一世紀人類文明的發展。

是否能由現行以石化燃料為

基礎的碳能循環，

逐步朝向氫能循環發展，

燃料電池扮演著關鍵角色，

且可能成為二十一世紀的重要能源裝置。

■ 許寧逸 顏溪成

隨著石化能源的大量開採，衍生出能源短缺與環境污染的隱憂，因此能源工程及環境保護關係著二十一世紀人類文明的發展。是否能由現行以石化燃料為基礎的碳能循環，逐步朝向氫能循環發展，燃料電池扮演著關鍵角色，且可能成為二十一世紀的重要能源裝置。本文就燃料電池的背景、原理及其優缺點做一般性介紹，希望讓讀者對燃料電池有客觀的、概念性及系統性的了解。

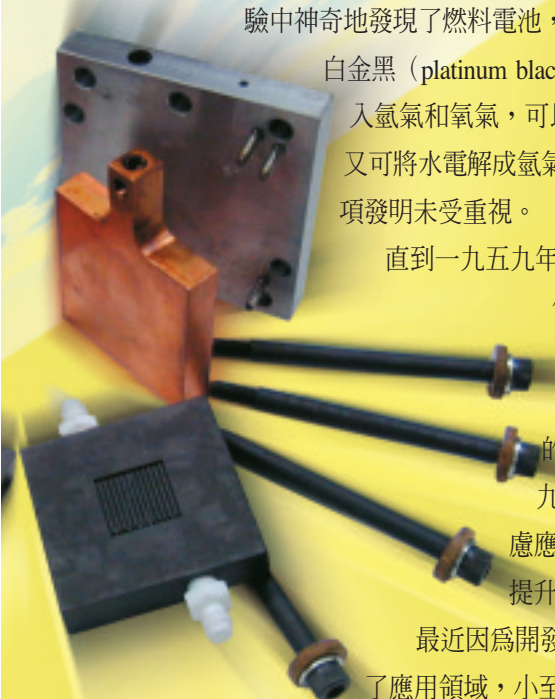
一八〇〇年伏特發明了電池，他以鋅及氧化銀製成伏特電池組（堆），並且發現電能可以用來電解許多化合物使其分解，例如利用電能可以將水電解而產生氧氣和氫氣。

伏特發明電池後39年，英國法官威廉·葛羅夫（William Grove）在一項業餘的實驗中神奇地發現了燃料電池，當時他將其取名為氣體伏特電池。他把白金絲鍍上一層白金黑（platinum black）後作為電極，浸在硫酸溶液中，並在電極兩邊分別通入氫氣和氧氣，可以得到約0.5~0.6伏特的電壓。若將其串聯，施加電壓，又可將水電解成氫氣和氧氣，但當時因為電極材料問題，發電量很小，使這項發明未受重視。

直到一九五九年，另一位英國人法蘭西斯·培根（Francis T. Bacon）製作出一個5,000瓦的燃料電池組，能夠推動電鋸機、電鋸及堆高機，使這項技術得以走出實驗室。其後鹼性燃料電池（AFC）更成功地應用在太空科技上，成為太空梭的電力供應系統。一九七〇年代出現的能源危機，以及一九八〇年代以來高漲的環保意識，使得燃料電池開始被考慮應用在地面上，作為現場型或分散型電廠或汽車動力，以提升能源使用效率及減輕環境的負擔。

最近因為開發出不同型式的燃料電池，不但提升了發電性能，也拓展了應用領域，小至行動電話、筆記型電腦，大到太空梭、發電廠，都有燃料電池發展的空間。隨著化工觸媒與高分子材料科學的發展，燃料電池性能因電極觸媒與電解質而受限的狀況得以大幅改善。

一九五〇年後，太空技術快速發展，使得燃料電池的角色也日益顯著。在今日，燃料電池已可應用在巴士上，但歐、美、日政府仍積極草擬以燃料電池做為住宅及工業用的備用電源。在技術持續進步之下，若能大幅降低製造成本，未來將可取代現行以電力網供電的模式。



燃料電池是一種能源直接轉換的裝置，燃料不經過燃燒，而以電化學反應的方式，藉由氫與氧的結合，將化學能直接轉變為電能，也就是一項水電解過程的逆向反應。

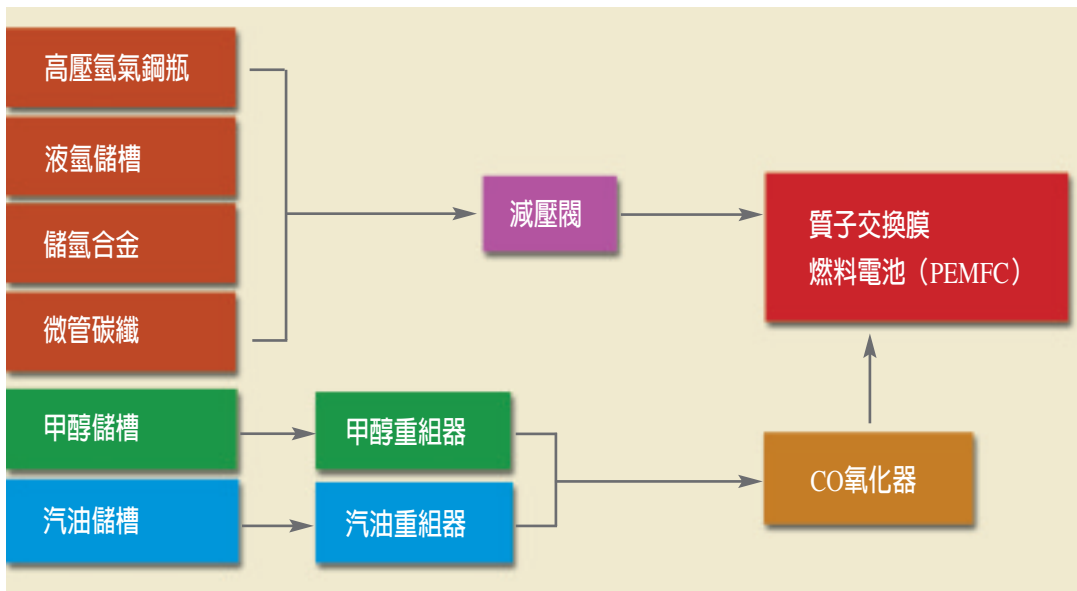
燃料電池的主要燃料是氫氣，氫氣來源可分為石化製氫與非石化製氫。石化製氫包括由煤、石油、天然氣等石化能源，經過重組反應後，所取得的大量氫氣。這部分技術已經相當成熟，也是目前氫氣的主要來源。非石化製氫則是利用太陽能、核能、水力等提供電力，經水電解反應產生氫氣，或以紫外光並藉由適當的觸媒直接光分解水產生氫氣。

目前發展中的燃料電池，依電解質的不同可以區分為鹼液型燃料電池（AFC）、磷酸型燃料電池（PAFC）、熔融碳酸鹽型燃料電池（MCFC）、固態氧化物型燃料電池（SOFC）及質子交換膜型燃料電池（PEMFC）等。若依燃料來分類，則可分為氫氣燃料電池、直接甲醇燃料電池、聯氨燃料電池、鋅空氣燃料電池等。

燃料電池具有所謂的「模組性」，可依用電量的大小增減電池組的數量。因此，燃料電池可以因應各種不同的電力需求，廣泛應用在小至數瓦的隨身家電，大至數百萬瓦的發電廠。

在10千瓦以下的燃料電池以質子交換膜燃料電池（PEMFC）的技術最為成熟，主要因為其反應溫度較低，約在攝氏100度以下，適用於小型的電器設備。目前已應用在巴士、汽車及一般家庭的電力供給上。在一般家庭方面，因國外地域廣大，其電網架設成本較高，電力供應可分為備用電力及主要電力二種。

備用電力應用的範圍是一般的都會區，由於用戶數多，電力網架設成本容易攤銷，故可使用燃料電池作為斷電時的備用電力。主要電力的用戶則多為地處偏遠地區者，因為鋪設電纜的成本過高，故政府鼓勵購買燃料電池，以供其電力使用，這種狀況以美國西北部最為明顯。目前幾間從事開發的公司，如 H Power、美國西北電力系統、Plug Power 等皆屬於此範疇。



質子交換膜燃料電池發電流程圖 氫氣可由高壓氫氣鋼瓶、液氫儲槽、儲氫合金或最新奈米科技所研發出的微管碳纖儲存，要發電時經由減壓閥輸送至燃料電池。另外一種發電方式是經由重組器將甲醇或汽油轉化成氫氣，再經CO氧化器純化將一氧化碳含量降至10 ppm（ppm代表每百萬分之一含量）以下，避免白金觸媒中毒，再送進燃料電池發電。

由於美國政府大力推動家用型燃料電池，使其無論在技術或市場應用上的成長都相當快速。目前俄勒岡州及德克薩斯州均有居民作為測試用戶，在產品技術上也已邁向量產，期望在不久的將來可取代傳



統的發電機。

最新的研發趨勢顯示，愈來愈多的3C電子產品需要持久、且輕薄短小的電池，燃料電池由於具備持久且免充電的特性，將成為電池市場的明日之星。

目前以氫氣與氧氣為反應進料的質子交換膜燃料電池組，因為其堆疊串聯方式與氫氣鋼瓶體積的限制，尚無法達到真正輕薄短小的要求。若使用其他燃料如甲醇、甲烷或汽油，則又需要複雜的重組器系統，更是無法滿足3C電子產品的需求。

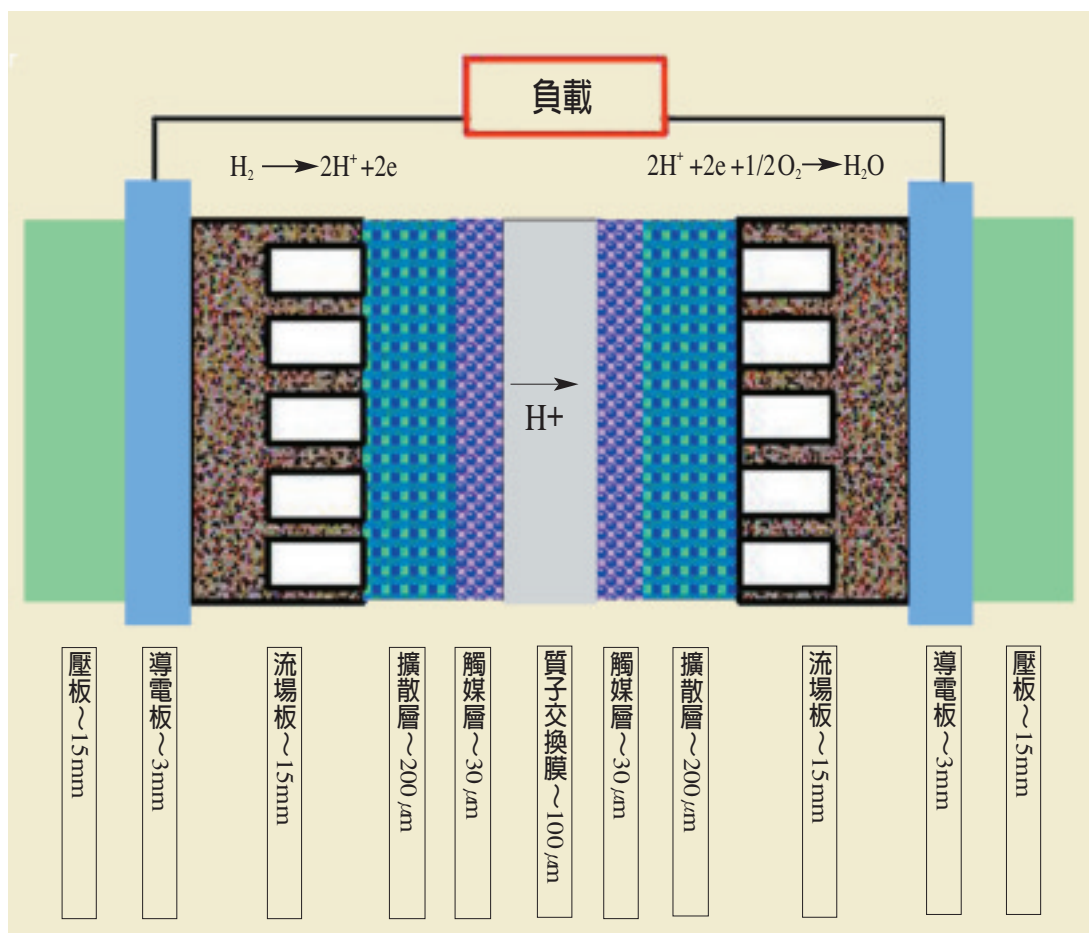
因此近年來開始研究使用甲醇為進料的直接甲醇燃料電池（DMFC），使其可在常溫下操作，並設計微小型燃料電池組的串聯方式與製作方法以及燃料卡匣，使其能達到輕薄短小的目的。加上其免充電性與優良的儲電性能，可設計為較大型而用於筆記型電腦，或設計為較小型而用於無線電話機、手機以及特定用途，如可攜式軍用電子裝置的電力來源。

由於直接使用甲醇為燃

料，其放電性能遠比使用氫氣時低，故尚須研發新的陰陽極電極觸媒與觸媒層製作程序以提高其反應性，並從事電解質膜改質研究以防止甲醇滲透過電解質膜，造成轉化率降低與反應性變差，以及毒化陰極白金觸媒等缺點。

在此以質子交換膜燃料電池為例，介紹其結構及原理。質子交換膜燃料電池一般由11層結構所組成，最中間那一層是傳輸質子的電解質膜，也就是質子交換膜，如美國杜邦（DuPont）公司生產的Nafion膜就是質子交換膜的一種，其他還有美國Dow、Gore，日本Asahi Glass、Asahi Chemical 等公司的質子交換膜產品。

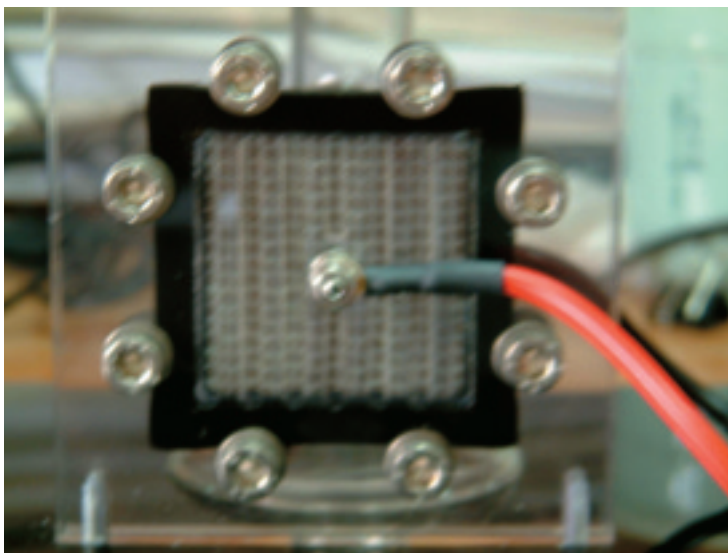
在質子交換膜兩側是觸媒層，是由鉑／碳、



**單一質子交換膜燃料電池示意圖** 一般由11層結構所組成，而電池組是由多個單電池串聯而成。單電池最中間那一層是傳輸質子的電解質膜，也就是質子交換膜，其厚度一般在0.1mm左右，與其外側的觸媒層及擴散層合起來稱為膜電極組體。

鉑／鈦／碳等觸媒粉粒、碳粉、Nafion、鐵弗龍所製成，陽極與陰極的電化學反應分別在這兩層中進行。在兩層觸媒層外側各有一層擴散層，大都使用低孔隙度的疏水性碳紙或碳布為材料，陽極與陰極的反應物即經由這兩層擴散至觸媒反應層，而生成物亦可經由這兩層擴散排出。

在兩層擴散層外側各有一層流場板，大都使用碳板、金屬板或複合石墨纖維板加工而成，在擴散層的一側都有氣體導流槽，陽極與陰極的反應物與生成物即經由這兩層流場板進



**單一個直接甲醇燃料電池(DMFC)**  
這是研發中的常溫型燃料電池，電極面積為5cm x 5cm，進料為甲醇水溶液，陰極可令空氣自然對流進入，無需額外的氣體幫浦。

出燃料電池。在流場板外側有導電板，作用是收集電子並將其經由外線路傳送至負載。最外層有兩片壓板，用以固定鎖緊整個電池組。

質子交換膜燃料電池發電原理是氫氣經由氣體流道進入電池組，經由擴散層與觸媒層中的白金觸媒作用後，氧化成爲氫離子並釋出電子，這就是在陽極的電化學半反應。此一半反應的兩種產物，氫離子及電子，再分別以不同方式輸送至陰極。

氫離子受到電滲透力的驅策，以一個氫離子伴隨數個水分子的方式，經由電解質層輸送

至陰極觸媒層。電子則因電位差的緣故，經由導電層在外電路作功之後輸送至陰極觸媒層。氫離子、電子、加上由陰極氣體流道輸送來的氧氣，藉由陰極觸媒層的白金催化，進行陰極半反應而產生水。總反應是氫氣和氧氣反應，產生水、電力和熱。其中電子靠固相傳導，質子靠液相傳送，氧氣靠氣相輸送，是一個三相電化學反應。理論可逆電壓是1.234伏特，但因為過電位及內電阻使得一般的工作電位約爲0.6~0.7伏特左右。

目前發展中的燃料電池以固態氧化物燃料電池及質子交換膜燃料電池爲主。

固態氧化物燃料電池屬於高溫型燃料電池，由於使用固態電解質，相較於使用液態電解質的磷酸型燃料電池，不會有電解液外漏及蒸發的問題，操作溫度爲攝氏800~1,000度，可獲得60%以上的發電效率。但此系統的技術較難克服，材料複雜度亦高，一般預估其商業化時程在二〇二〇年以後，可能應用在分散型電廠。

質子交換膜燃料電池的操作溫度可以低於攝氏60度，且無腐蝕性液體逸出的危險，又有高電流密度等優點，因此近年來成爲燃料電池研發工作的焦點。其用途包括現場型、運輸動力型與攜帶型機組等，可依照需求的不同將單電池組成電池組，以串聯方式來區別可分爲傳統堆疊串聯和平板型串聯等方式。由於具有下列諸項特色，成爲歐、美、日各國爭相研發和推廣的對象：

低污染——燃料電池比一般發電方式更爲清潔，若用氫氣作爲燃料，其排放物是可供飲用的水和可以利用的熱能。

高效率——因爲燃料電池直接將燃料中的化學能轉換成電能，不受卡諾循環的限制。

低噪音——發電主體不含迴轉機件時則無噪音問題，但若需散熱，則有風扇的雜音。

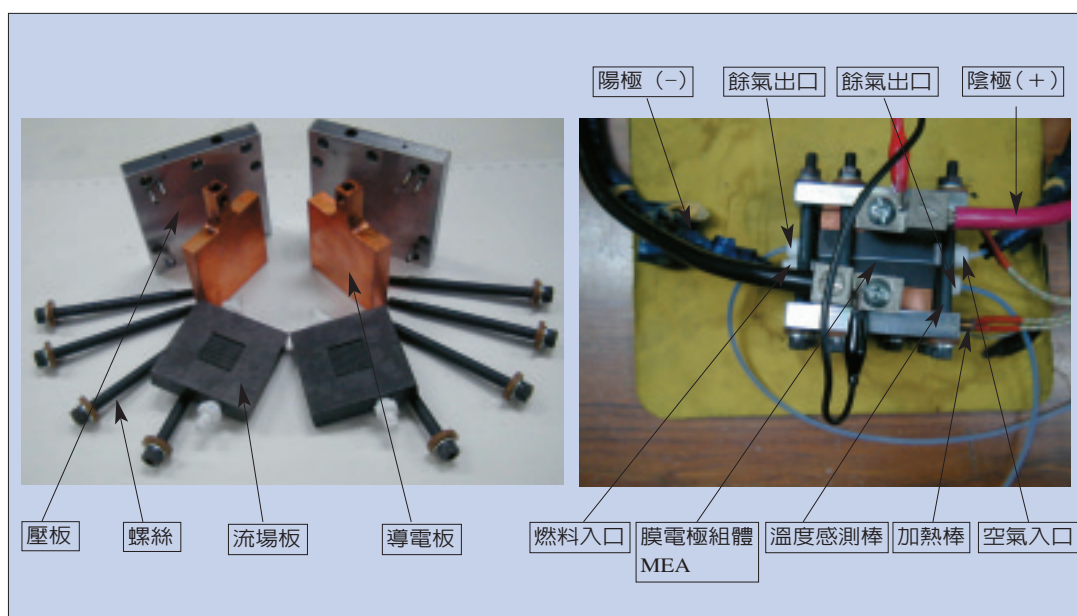
**多用途**——燃料電池所能提供的電力範圍廣泛，約為1W~1,000MW，因此可應用的產品也多。

**免充電**——一般電池是將能源貯藏在電池本體中，用完後即須捨棄或重新充電以恢復電力。燃料電池的能源是由燃料中的化學能所提供，不含在電池本體結構中，因此只要源源不絕地供應燃料，便可以不停地發電。

**多種進料選擇**——只要含有氫原子的化石能源，如天然氣、石油、煤炭等氣化產物，或

太有利。若採用液態燃料，則需要時間研發小型高效率的燃料重組器和CO氧化器。就燃料電池所使用的材料而言，因為使用鉑為催化劑，雖然可以有效地提高發電效率，但也增加了成本。

目前技術的瓶頸在於電池組系統的性能受限於反應性與穩定性。較好的反應性可以由增加電極活性、提高操作溫度、控制反應氣體溼度與壓力等方法來達到。提高穩定性則必須避免腐蝕與副反應的發生，以及考慮電池組各層



**質子交換膜燃料電池** 左為單電池組裝前照片，右為單電池組裝後照片。

是沼氣、酒精、甲醇等，都可作為燃料電池的能源進料。加上利用高壓鋼瓶或金屬氫化物等儲氫材料製成的儲氫卡匣成為燃料電池電力組，可取代一般的蓄電池使用。

但就目前的技術而言，燃料電池尚有一些缺點及瓶頸需要突破。目前燃料系統的選擇與相關技術的可用性仍無法令人滿意。就電動機車的小型系統而言，一般建議直接使用高壓鋼瓶或儲氫合金等氫氣儲存技術，但其成本、體積、重量、安全性及消費者接受度等因素並不

結構材料的匹配與相容性。而反應性與穩定性常常是有如魚與熊掌般的不可兼得，就不同的應用場合，電池組的設計會有很大的差異。除此而言，整個系統的安全性仍待明確規範，並予以提升。

燃料電池具有模組性，其供電範圍比其他電池廣，因此如能找到一種特殊適合的利基應用場合，可使燃料電池大放異彩。 □

許寧逸 顏溪成  
台灣大學化學工程系