

# 國防大學中正理工學院

## 赴美進修心得報告書

### 燃料電池 ( Fuel Cell )

報告人：賴正權 上校

中華民國 95 年 1 月

# 目錄

壹、 前言.....	3
貳、 研究動機.....	5
參、 燃料電池簡介.....	7
肆、 研究內容與成果.....	11
伍、 未來發展.....	15
陸、 結語.....	16
柒、 參考文獻.....	17

## 壹、前言

職奉國防部選返字第 0940007996 號令（中華民國 94 年 6 月 14 日），赴美國路易斯安納州立大學（Louisiana State University；LSU）機械工程系（Department of Mechanical Engineering）短期進修，核定之進修期限自民國 94 年 6 月 30 日起至 12 月 29 日止。茲因個人於短修之前仍兼任行政職務，故實際短期進修之期程係自民國 94 年 7 月 31 日起至 12 月 29 日止。

LSU 於西元 1860 年建校，位於路易斯安那州的首都巴頓魯治（Baton Rouge），係路易斯安那州最優學府之一，目前學生（含研究生）約三萬餘人，LSU 圖書館館藏豐富，藏書約三百萬冊，刊物則近兩萬餘種。

路易斯安那州的州名是為了榮耀當時的法國國王 King Louis XIV，由法國大探險家 Sieur de La Salle 在西元 1682 年命名。路易斯安那州於 1812 年正式成為美國的一州，是美國的第 18 個州。密西西比河流經該州，在早期殖民地時期，法國、西班牙及英國都曾佔領過該州，黑奴曾大量被進口到此州。在當時，紐奧爾良（New Orleans）港有西方之珠的美稱，可謂是西方的香港。路易斯安那州當地文化有

著濃厚的南方美國文化及法國、西班牙、非洲黑人等多重文化的特性。至今紐奧爾良的街道還留著各種文化的遺跡，是一相當著名的觀光區。紐奧爾良位於密西西比河河口，地勢平坦有些地方甚至低於海平面約 2.5 公尺，是路易斯安那州的第一大城人口約 50 萬，近 10 年來人口幾乎沒成長，而第二大城則是首都 Baton Rouge。近半年來由於紐奧爾良飽受颶風的肆虐及水災的摧殘，各種的文化遺跡受到嚴重損壞，繁榮之景象已大不如往昔，反倒是紐奧爾良旁邊的 Baton Rouge 大興土木，各種大型建設處處可見，首都 Baton Rouge 的蓬勃發展直逼紐奧爾良。

路易斯安那州緊臨德州、密西西比州、阿肯色州、及墨西哥灣，面積約 13.3 萬平方公里，是台灣的 3.6 倍大，人口僅約 5 百萬，地廣人稀，民風樸實，居民主要的休閒活動是釣魚及打獵。該州主要產業有農業、米、棉花、大豆、鹽製品、石油、漁業等，是一個農業州，但其石油及石化工業亦十分發達。

## 貳、研究動機

能源的利用，對文明產生了極大的貢獻，但伴隨而來對環境的破壞，如溫室效應及空氣、水及土地的污染等，都是地球上萬物所共同面臨的危機。另外，隨著全球工業及人口之遽增，地球上可資利用的能源則是越來越短缺，根據科學家的估計，在 45 年、65 年及 220 年內，地球上的石油、天然氣及煤礦等將分別完全耗盡，屆時再如何豪華昂貴、高性能的車，終將是廢鐵一堆。因此開發高效率低污染、可重複使用、對環境友善以及能源轉換效率佳的新能源技術，早已成為各國工業界及學術界共同追求之目標與興趣，更是刻不容緩的事。其中燃料電池技術因具備低污染及高能源轉換效率之特性，業已成為近年來最受矚目的新穎能源供應技術之一。致於大家所熟知的鋰電池，目前已經開發到了接近理論值的瓶頸，在還沒發現新對策的情形之下，燃料電池的發展，似乎為這種絕境燃起了一線曙光。

近幾年來，以"燃料電池"發電的技術，經過不斷地改進，其商業化的前景已是指日可待，尤其汽車工業，對"燃料電池"的興趣最大。傳統汽車引擎，是以燃燒汽油來產生能量，但其中約百分之八十的能量卻以熱或磨擦力的方式流失，而其廢氣所造成的污染，更是人人受害

的頭痛問題；反觀"燃料電池"技術，利用氫及氧的化學反應，產生電流及水，不但無污染且同時也避免了傳統電池充電耗時的問題。今天無論歐、美、加拿大，日本或中國大陸等均早已投入大量的人力、財力積極從事有關燃料電池的研發工作，其相關產業亦正積極培育當中，而且都已經有了很不錯的初步結果。

無論是從能源的短缺或是從環保的要求等方面著眼，再再說明燃料電池科技是未來民生科技的重點，更是國防科技不可或缺的需求。然就個人所知國軍尚未大量投入有關燃料電池的研發，因此個人特別利用此這次短期進修的機會從事有關燃料電池科技之學習及研究工作。

### 參、燃料電池簡介

燃料電池(Fuel Cell)是在西元 1839 年首先由英國人 Sir Williams Robert Grove 發現，它是一種將燃料的化學能透過電化學反應直接轉換成電能的發電裝置；它不像充電式電池一樣，用完需要繼續充電，也不像一般非充電式電池，用完就丟棄。燃料電池正如其名，可繼續添加燃料以維持其電力，所需的燃料是「氫」，其之所以被歸類為新能源，原因就在此。

燃料電池含有陰陽兩個電極，分別充滿電解液，而兩個電極之間則為具有滲透性的薄膜所構成。氫氣由燃料電池的陽極進入，氧氣(或空氣)則由陰極進入燃料電池。經由催化劑的作用，使得陽極的氫原子分解成兩個氫質子 (proton) 與兩個電子 (electron)，其中質子被氧『吸引』到薄膜的另一邊，電子則經由外電路到達陰極而形成電流。在陰極催化劑之作用下，氫質子、氧及電子，發生反應形成水分子，因此水可說是燃料電池唯一的排放物。

燃料電池所使用的「氫」燃料可以來自於任何的碳氫化合物，例如天然氣、甲醇、乙醇(酒精)、水的電解、沼氣等。由於燃料電池是經由利用氫及氧的化學反應，產生電流及水，不但完全無污染，也

避免了傳統電池充電耗時的問題，是目前最具發展前景的新能源方式之一，如能普及的應用在車輛及其他高污染之發電工具上，將能顯著改善空氣污染及溫室效應。

目前燃料電池依照其使用電解質的不同，可分為質子交換膜燃料電池或固體高分子型燃料電池(Proton Exchange Membrane Fuel Cell；簡稱 PEMFC 或 PEFC)、鹼性燃料電池(Alkaline Fuel Cell ；簡稱 AFC)、磷酸型燃料電池(Phosphoric Acid Fuel Cell ；簡稱 PAFC)、熔融碳酸鹽燃料電池(Molten Carbonate Fuel Cell ；簡稱 MCFC)及固態氧化物燃料電池(Solid Oxide Fuel Cell ；簡稱 SOFC)等五種【1】。

質子交換膜燃料電池(PEMFC)，其電解質為離子交換膜，薄膜的表面塗有可以加速反應之觸媒（大部分為白金），薄膜兩側分別供應氫氣及氧氣，氫原子被分解為兩個質子及兩個電子，質子被氧吸引，再和經由外電路到達此處之電子形成水分子，因此燃料電池的唯一液體是水，腐蝕問題相當小，同時其操作溫度介於 80 至 100 之間，安全上之顧慮較低。然而，觸媒白金價格昂貴，若減少其使用量，操作溫度勢必會提升。再者，白金容易與一氧化碳反應而發生中毒現象，因此比較不適合用在大型發電廠，而適合做為汽車動力來源。

鹼性燃料電池(AFC)，一般被運用於人工衛星上，操作時所需溫度並不高，轉換效率好，可使用之觸媒種類多價格又便宜，例如銀、鎳等，但是在最近各國燃料電池開發競賽中，卻無法成為主要開發對象，其原因在於電解質必須是液態，燃料也必須是高純度的氫才可以。此外，鹼性燃料電池的電解質易與空氣中的二氧化碳結合形成氫氧化鉀，影響電解質的品質，導致發電性能衰退。

磷酸型燃料電池(PAFC)，因其使用之電解質為 100 % 濃度之磷酸而得名。操作溫度大約為 150 到 220 之間，又因溫度高所以廢熱可回收再利用。其觸媒與前述之質子交換膜燃料電池一樣，同為白金，因此也同樣面臨白金價格昂貴之問題。到目前為止該燃料電池大都運用在大型發電機組上，而且已商業化生產，技術較不成問題，惟未能迅速普及，成本居高不下就是主要關鍵。

熔融碳酸鹽燃料電池(MCFC)，其電解質為碳酸鋰或碳酸鉀等鹼性碳酸鹽。在電極方面，無論是燃料電極或空氣電極，都使用具透氣性之多孔質的鎳。操作溫度約為 600 至 700 ，因溫度相當高，致使在常溫下呈現白色固體狀的碳酸鹽溶解為透明液體，而發揮電解質之功用。由此可見此類型燃料電池，並不需要貴金屬當觸媒。因為操作溫

度高，廢熱可回收再使用，其發電效率高者可達 75 到 80 %，非常適合於中央集中型發電廠。

固態氧化物燃料電池(SOFC)，其電解質為固態的氧化鋯或氧化鈾，因含有少量的氧化鈣與氧化釷，穩定度較高，不需要觸媒。但此種類型燃料電池之電解質是固態的，所以要在較高的溫度（約為 800 ~ 1000 ）操作，技術上不太容易，然其廢熱可回收再利用，能源轉換電能的效率高，而且可以採用氫燃料或其它碳氫燃料，因此大都使用於中規模發電機組，現已有多座大型試驗廠在歐、美、日及加拿大等國家開始適用。

綜合上述，燃料電池應用範圍極廣，從產業、運輸到民生均可。鹼性燃料電池大多應用於太空計畫上，質子交換膜燃料電池主要應用在交通運輸及可攜式產品等方面等，具有高效率、低污染及高機動等特性，但是造價昂貴，目前商品化仍是不太容易。磷酸鹽燃料電池，則以應用在發電廠的發電技術較為成熟。然而，在發電方面，目前是以固體氧化物燃料電池（SOFC）為主的離散型電廠發展速度最快，主要因為 SOFC 可以直接以天然氣為燃料，污染程度較低之故。

## 肆、研究內容與成果

因為固體氧化物燃料電池(SOFC)的能源轉換成電能的效率高，它可以直接使用天然氣為燃料，亦可使用沼氣為燃料，很有可能是最佳之沼氣發電技術，對有機廢棄物資源化有莫大的幫助。而且 SOFC 很適合發展成離散型的中規模發電廠，是未來提供電力系統的主要選擇之一，因此個人此次的短修研究重點特別著重在與 SOFC 相關的學習與研究。

研究的主題之一為：【固體氧化物燃料電池(SOFC)對流強化之設計】，強化對流之設計可以增進燃料電池內之質傳(mass transfer)，進而改善目前燃料電池普遍存在之能量密度(power density)太低之現象，亦可增進電池操作時之熱釋放率，而提升 SOFC 之性能。

研究工作分數值模擬及實驗測試兩部分，其中數值部分的主要目的是要發展出一套可以設計及模擬 SOFC 流場之數值工具，這是一項頗具挑戰的工作，須長期持續投入的研究工作，現仍持續進行中。目前已初步規化出燃料輸入流道之對流強化設計，但仍待相關實驗測試的驗證及進一步的精進。至於實驗工作的部分，則因為 SOFC 係屬高溫操作(800~1000 )之燃料電池，為了能夠深入仔細探討分析 SOFC

之質傳現象與其性能之關係，實驗分成兩部份進行：(1) 低溫測試，用於分析、研究 SOFC 燃料（天然氣或氫氣）輸入流道與具多孔性材質陽極之間的質傳現象。然而因實驗測試工作甚為複雜且耗時，於短修期間先對典型傳統的對流流道進行測試與分析，至於有關強化對流設計的部份將與 LSU 的教授，共同合作持續進行研究；(2) 高溫測試，可以用來探討電池於真實操作之情況下，質傳對 SOFC 整體性能之影響。這部份的工作因時間的關係尚未開始，亦如上所述，將與 LSU 教授共同合作持續進行。而上述之設計及模擬數值工具之實用性，亦必須經由低溫及高溫之實驗測試的驗證。

另外在這次的短修期間也參與一些有關 SOFC 之製造工作，SOFC 經常用 YSZ (Yttria-Stabilized Zirconia) 作為電解質層，YSZ/NiO 作為陽極層及  $\text{LaMnO}_3/\text{Sr}$  作為陰極層【2, 3】。這些薄膜層的製作，一般傳統上採用電漿噴塗技術 (Plasma Spray Process) 製作，但利用這種技術製作出來的薄膜層其多孔性 (Porosity) 不佳，使得 SOFC 之性能大受影響。因此參與的研究工作是探討如何利用 PSD (Plasma Suspension Deposition) 的技術製作上述 SOFC 之薄膜層，PSD 的技術可參考美國 560992 號專利【4】。利用 PSD 製作 SOFC 首先面臨的問題

是有關 Suspension Droplets 霧化 ( Atomization ) 現象的探討 , 接著是 Plasma-Droplet、 Droplet-Droplet 及 Particle-Particle 之間交互作用現象之研究 , 而這些研究包含 Fluid Dynamics ( Atomization )、 Diffusion、 Chemical Reactions ( Ionization Dissociation and Recombination )、 Turbulence、 Thermal Radiation 等等 , 它是一項較為挑戰且期程較長的研究工作 , 所必須用到的實驗量測設備甚多 , 包含 Phase Doppler Particle Analyzer ( PDPA )、 High-Speed Photography、 IR Camera、 In-Flight sampling Probe 等 , 它同時也是一項昂貴的研究工作

於短修期間也參與一些有關於質子交換膜燃料電池 ( PEMFC ) , 的研究工作 , 對 PEMFC 而言 , 有一非常困擾的問題 , 就是當 PEMFC 在操作中 , 經常會因一氧化碳 ( CO ) 濃度太高而使白金觸媒中毒的現象 , 這次短修期間已與 LSU 之教授找到了初步解決的方法 , 這對將 PEMFC 性能的提升及持續的使用有直接的助益。

CAMD( Center for Advanced Microstructures and Devices )與 LSU 相距約 5 英哩 , 是 LSU 的同步加速輻射研究中心 , 專門探討微結構與微設備之高科技技術中心 , 主要設備是一同步加速器 ( Synchrotron ) , 從事原子和分子結構、 凝聚現象及有關微機電製造等之研究工作。

CAMD 之 X 射線光譜及顯微鏡也為工業界、材料工程及環境工程等提供了強而有力的分析工具及研究能量。個人於短修期間，為了研究工作上的需求，曾數次前往該中心，對於一個大學來說有著 CAMD 這樣的先進設備留下極為深刻的印象，這個部份非常值得與 LSU 進行相關的研究合作計畫。

## 伍、未來發展

PSD 對於降低 SOFC 製造成本及提升 SOFC 性能,是一頗具潛力的技術。短期進修期間所參與的各項關於燃料電池的研究工作均值得持續進行,而有關燃料電池應用在 UAV 的應用也是一個很有發展潛力的研究主題。本院的航空系及機械系為因應轉型,將合併為【機電能源與航太工程系】,與燃料電池有關之能源技術的研發,應該是這個系未來的發展重點之一。

有關電漿的應用,除了燃料電池的製造之外,其他方面例如 Electro-Plasma Technology 在表面處理( Surface Modification )上的應用就非常值得推廣,因為它是一種快速且經濟的方法。另外電漿的技術亦可應用在戰機匿蹤的設計上,這也是值得去探討的研究主題,建議國軍應該有人開始從事這方面的研究。

另一項工作就是可致力於促進本院與 LSU 之交流,如彼此教師之間研究計畫的合作,以及交換學生等等,而交換學生的部份則可先從碩、博士研究生開始。

## 陸、結語

有關燃料電池的技術的應用與研發，勢將對國防科技有著直接的影響與貢獻，建議將之列為重點的投資與研發工作。而有關燃料電池的研發工作是一典型的系統工程，它是一個跨領域相互合作的研究工作，因此必須要有研究團隊，也就是要大家的共同參與，長期且持續的共同投入人力與時間及找到資助的經費方能有所成。

就個人在 LSU 的觀察，LSU 教授們的研究計畫內容非常注重實用性，簡單的說就是希望每個研究計畫到最後都要有可商業化的產品出來，因為這樣的研究計畫，比較容易通過審核而獲得經費贊助，這種的概念與做法非常值得我們的參考。

個人非常感激，這次能夠赴美國短期進修，經過了五個月的研究與學習，激發了不少的創新想法及增進了對燃料電池更進一步的認識與瞭解，這對個人未來在本院的教學及研究工作將有莫大的助益。

## 參考文獻

1. Larminie, J., Dicks, A., *Fuel cell system explained*, Wiley, ISBN:047084857x, 2003.
2. Singhal, S. C., *Science and technology of solid oxide fuel cells*, MRS bulletin, March 2000, p16 – 21.
3. Steele, B. C. H., Survey of materials selection for ceramic fuel cells. II. Cathodes and anodes, *Solid State Ionics*, v86 – 88, n2, 1996, p 1223-1234.
4. Gitzhofer, F., Bouyer, E., and Boulos, M. I., Suspension plasma spray deposition, U. S. Patent 5 609 921, Mar. 11, 1997.