

94 年度「環保署/國科會空污防制科研合作計畫」

成果完整報告

總計畫：燃料電池產業技術發展對空氣污染減量影響
研究

子計畫三：燃料電池能源供輸產業技術發展對空污減
量影響研究

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC 94-EPA-Z-224-003-

執行期間： 94 年 1 月 1 日至 94 年 12 月 31 日

總計畫主持人：洪哲文

計畫主持人：施國亮

共同主持人：

計畫參與人員：許添証

執行單位：國立清華大學動機系

國立雲林科技大學機械系

中 華 民 國 94 年 12 月 31 日

一、中英文摘要

1-1 中文摘要

隨著 19 世紀工業革命開始，人類的科技技術以倍數在成長，地球資源也被大量運用，生活品質逐年改善，但伴隨而生的是一大堆的環境污染和資源面臨到被耗盡的結果。20 世紀末，地球臭氧層因地球上人們大量使用化學污染物造成侵蝕而破洞，出現暖冬及太陽紫外線對地表近乎直設的現象，皆是空氣污染所造成的結果，其中以石化廢棄，汽車排放廢氣，工業廢氣為主，煤煙、工業揚塵、汽車有害物的排放是危害空氣的三大污染源，雖然汽油的品質因為空氣污染以及所衍生的間接危害對地球生態和人體造成鉅大影響而有向上提升的趨勢，但是其改善是有限的。各國政府有鑑於此便開始著手研發替代燃料，以 LPG、CNG 和燃料電池為例，目前以 LPG(液化石油氣)及 CNG(液化天然氣)用於汽車來替代汽柴油較為普及，但近幾年來已將重心發展到燃料電池上，故不管是使用燃料電池、LPG 或 CNG 和燃料電池，其供輸產業技術發展仍屬於開發階段，尚未普及化，故本計畫針對國內外燃料電池供輸技術予以研究比較，並評估國內發展之可行性，以期能為業者和政府能在推動改善空氣污染上有所參考，並對社會大眾的安全考量有所助益。

1-2 英文摘要

As the industrial revolution of the 19th century began, human science and technology were growing up extensively, the earth resource is used in a large amount too, the quality of the life is improving year by year, but a following one is the pollution problem, occupy certain proportion by discharged waste gas with automobile among them, and various countries development zero fuel cell polluted the main fact already in recent years. The plan is supported to the domestic and international fuel cell to lose the present situation of technical development to carry on the investigation, after evaluating the development trend and feasibility in the future , evaluating the influence in air pollution reduction , as enterprise and government to refer fuel cell supply and transportation technology and improve air reference at the quality to support to promote All security are considered and benefitted to some extent.

二、報告內容

2-1 計畫緣起

空氣污染雖工業發展而日益嚴重，尤其在大型都會區，運輸工具所排放之廢氣，使得人們健康遭受極嚴重危害，在環保意識抬頭下，因此廢氣排放所造成之空氣污染，以立刻不容緩解決之課題。我國的汽機車密度高居世界第一位，每平方公里約 367 輛，為美國的 17 倍，由於國民環保意識提高，生存環境品質要求也提昇，所以在車輛密度無法降低之前，低排放車輛是目前台灣唯一要走的路。

清新與潔淨的空氣品質是人類生活之基本要件，也是確保健康要素之一，但由於台灣經濟發展迅速，交通工具繁多，各式工廠林立，排放氣體所造成的污染，對空氣品質影響甚鉅。其中機動車輛為許多污染物質的來源，雖然機動車輛排放標準不斷提高，但由於車輛數量不斷增加，車輛排放廢氣所帶來的空氣污染問題，就與日俱增。

尤其在台灣地區，人口集中，都會區特性明顯，相對汽車所排出之污染濃度已超出正常濃度值甚多，對人、動(植)物等產生不良之影響，甚至直接或間接危害人體健康。同時台灣是一個不產石油的國家，能源需求上要求避免風險集中，因此，在改善車輛污染的問題上，應瞭解排放之原因，並採適當之方法以降低排放污染，同時亦儘可能採用天然氣、甲醇、燃料電池等乾淨的多元化能源取代石油，以期降低排放污染及提高能源使用效率。

燃料電池是今日全世界共同注目焦點之綠色產品，預期將於本世紀初形成一重大產業，改變現今能源市場結構與環保空污系統市場。由於基本上由化學能轉換至電能的電化學反應其能量轉換效率遠高於傳統燃燒化學反應轉至機械能再轉換至電能之系統設計，加上燃料電池操作原理無摩擦、振動、噪音等機械特性，且主要產物是水，大量減少燃燒所產生之空氣污染，故能同時兼顧能源多樣化及環境保護目標，故符合全世界各國政府發展方向。燃料電池目前遭遇之難題只剩技術問題與成本降低，由經濟觀點著眼，各國政府及產業界皆已經或即將投下鉅資進行最後衝刺，主要看上的便是此技術應用其產品商機無限，從利用奈米科技微機電製程之 3C 用微燃料電池，普及至民生用品如可攜式、家用或車用發電機，大至社區發電之分散型發電系統以及影響國計民生之大型發電廠等，皆可打開新市場，故相當適合以中小企業為主體之台灣工業環境，仿效個人電腦及周邊產業進展過程，不斷從基本面及應用面進入此新興工業，預期台灣燃料電池產業亦佔有世界一席之地。

隨著 19 世紀工業革命開始，人類的科技技術以倍數在成長，地球資源也被大量運用，生活品質逐年改善，但伴隨而生的是一大堆的環境污染和資源面臨到被耗盡的結果。20 世紀末，地球臭氧層因地球上人們大量使用化學污染物造成侵蝕而破洞，出現暖冬及太陽紫外線對地表近乎直射的現象，皆是空氣污染所造成的結果，其中以石化廢氣，汽車排放廢氣，工業廢氣為主，煤煙、工業揚塵、汽車

有害物的排放是危害空氣的三大污染源，雖然汽油的品質因為空氣污染以及所衍生的間接危害對地球生態和人體造成鉅大影響而有向上提升的趨勢，但是其改善是有限的。各國政府有鑑於此便開始著手研發替代燃料，以 LPG、CNG 和燃料電池為例，目前以 LPG(液化石油氣)及 CNG(壓縮天然氣)用於汽車來替代汽柴油較為普及，但近幾年來已將重心發展到燃料電池上，故不管是使用燃料電池、LPG 或 CNG，其供輸技術發展仍屬於開發階段，尚未普及化，故本文針對國內外燃料電池供輸技術予以研究比較，並評估國內發展之可行性，以期能為業者和政府能在推動改善空氣污染上有所參考，並對社會大眾的安全考量有所助益。

2-2 計畫目的

無論從能源或環保的角度來看，燃料電池在未來都具有舉足輕重的地位，因此燃料電池相當值得關心。氫電汽車在技術研發上的確是進步快速，不過氫電汽車之燃料供應系統仍在研究及評估階段，還未能推出完整之規劃工作，使得氫電汽車之商業化時程可能受到影響。氫氣固然是氫電科技之主要燃料，但是目前也有不需使用純氫之氫電科技，譬如直接甲醇式氫電科技（Direct methanol fuel cell），只要將甲醇加入氫電科技之設備當中，即可產生電力，而甲醇之基礎設施相對於純氫氣之基礎建設來得簡便，不過直接甲醇式氫電科技並不是零污染，還會有少量之排放物。由於目前並沒有現成之純氫基礎設施，那麼是否可以利用現成之加油站設施來供應氫氣，或是裝置汽油重組器、甲醇重組器於氫電汽車上，即可利用目前之加油站供應系統。這些課題還未有決定性之定論，必須加以審慎評估。

過去與目前的氫氣大多從石化燃料製造而得，可以了解氫能零污染的循環，未來的氫氣將由太陽能分解水而來，同時產生我們無時無刻都需要呼吸的氧氣，經由氫氣儲存及運輸系統將氫氣傳送到所需的地方，再利用燃料電池產生可以運用的電力和純淨的水，如此循環不已的迴路就是「氫能循環」。在此循環當中，氫氣扮演能量儲存及傳送的重要媒介。在氫能循環取代現有的石化原料之「碳循環」以前，我們將循序漸進的步入氫能時代，於不久的將來，將會有很多零污染的燃料電池電動車行駛於街上，取代現有的引擎車，解決都市的空氣污染問題；接著，已氫氣為燃料的燃料電池發電廠及發電機將會逐漸取代現有的發電與輸配電系統，大樓或用戶可以運用燃料電池發電機自行發電，電線竿與電纜線將會成為過去事；同時氫氣的生產方式將會有重大的突破，運用生物科技大量製氫，光電解水製氫與水電解製氫的效率將會提高，取代傳統以石化原料製氫的方式，從此氫能循環將可由碳循環中獨立出來，氫能的時代裡將有很多有關氫氣的經濟活動，氫能的公共設施，氫氣的市場，氫氣的利用技術等。氫能時代的實現，需要靠市場競爭的趨勢和人類對環境保護的重視以及高科技的研發團隊來完成。期望人類的將來將是一個環保與經濟相輔相成的時代。

2-3 文獻探討

2-3.1 燃料電池發展史與現代史

一般認為燃料電池最早誕生於 1839 年 Grove 的「氣體電池」(gas voltaic)實驗，然而比較嚴謹的說法應該是 Schonbein 在 1838 年首度發現了燃料電池的電化學效應，而第二年 Grove 發明了燃料電池。在 Schonbein 寫給英國學者 M.Faraday 信中曾提到，他在家中洗衣間所建立的實驗裝置可以不需要像電池一樣進行化學充電而直接產生電流。隔年(1839)一月，在 Philosophical Magazine 的幾篇報導中再次提到前述之實驗結果，內容強調氫氣與白金電極上的氯氣或氧氣所進行的化學反應過程中能夠產生電流。Schonbein 將此種現象解釋為極化反應(polarisation effect)，這便是後來被稱作燃料電池的起源。值得一提的是，Schonbein 曾經從英國先進科學學會獲得 40 英鎊經費進行燃料電池之研究，這是全世界第一個官方正式資助的燃料電池研究。

Grove 的氣體電池基本構想是源自水的電解實驗。水電解過程是用電將水分解成為氫氣與氧氣，反過來，Grove 認為將氧氣與氫氣反應就有可能逆轉電解過程而產生電。為了驗證這一理論，他將二條白金分別放入二個密封的瓶中，一個瓶中充滿氫氣，另一個瓶中充滿氧氣，當這兩個容器浸入稀硫酸溶液時，電流便開始在二個電極之間流動，裝有氧氣的瓶中產生了水，而為了提高整個裝置所產生的電壓，Grove 將四組這種裝置串聯起來，他將這種電池稱為「氣體電池」，這個裝置就是後來被公認的全世界第一個燃料電池，「燃料電池」一詞一直到了 1889 年才由 L.Mond 和 C.Langer 二位化學家所提出，當時他們採用浸有電解質的多孔非傳導材料為電池隔膜，以鉑黑(Pt Black)為催化劑，以鑽孔的鉑或金片為電流收集器組裝出氣體電池，操作電壓為 0.73V 時的電流密度為 3.5mA/cm²，現在看來，當年他們的電池從結構上已有些接近現代的燃料電池了，後來他們又嘗試利用空氣與工業煤氣分別取代氧氣與氫氣而製造出第一個實用的燃料電池裝置。

就十九世紀的科學能力而言，要將燃料電池商業化有許多障礙根本無法克服，例如白金的來源、氫氣的生產等。因此，人們對 Grove 的發明便逐漸淡漠了。到了十九世紀末，更由於內燃機技術崛起與快速發展同時配合大規模化石燃料的開發與使用，使得燃料電池應用變得遙遙無期，甚至被認為只不過是科學上史上的一次奇特事件。

接下來的幾十年燃料電池的發展史主要由劍橋大學的培根(F.T.Bacon)博士所主導。1932 年培根根據 ASchmid 所提出的多孔結構之氣體擴散電極(gas diffusion electrode)概念而開發出雙孔電極，並將 Mond 和 Langer 所發明的裝置加以改良，包括採用比較廉價的鎳網取代白金電極，以及用不易腐蝕電極的鹼性電解質-氫氧化鉀取代硫酸電解質，這種裝置又稱作培根電池。培根電池實際上就是第一個鹼性燃料電池(alkaline fuel cell, AFC)，不過，經歷 27 年後的 1959 年，培根才真正製造出能夠工作的燃料電池，也就是一部 5kw 的焊接機。除了 Bacon 之外，著名的農用機械製造商 Allis-Chalmers 公司也在同一年底推出了第一部以燃料電池為

動力的農用曳引機，20 匹馬力曳引機所需的電力是由 1008 個單電池串聯而成的 15kw 燃料電池堆(fuel cell stack)所提供，奠定了現代燃料電池的商業化基礎

燃料電池現代史從 1960 年代初期太空科技的發展談起，當時，美國航空太空總署(NASA)為了尋找適合作為載人太空船的動力源，特別進行了各種動力源的發電特性的分析與比較(如化學電池、燃料電池、太陽能電池以及核能等)。基本上，作為太空船的動力源必須具備高比功率與高比能量的特性，從分析結果可以歸納出幾項結論，一般化學電池太重，太陽能價格昂貴且功率密度低，而核能又太危險，相形之下氫氣燃料電池則特別適合作為功率要求在 1~10kw，飛行時間在 1~30 天的載人太空船的主電源。此外，燃料電池反應所產生的純水還可以作為太空人之飲用水，而且液態氧系統同時可作為太空船的備份維生系統。因此，NASA 便開始資助了一系列燃料電池的研究計畫，進行太空飛行動力之開發設計。這一系列研究的第一項成果就是高分子電解質(polymer electrolyte)的成功開發。1955 年，通用電氣公司(General Electrical GE)的工程師 W.T.Grubb 改進了原來的燃料電池設計，使用磺化的聚苯乙烯離子交換膜作為電解質。三年後，GE 的另一位工程師 L.Niedrach 發明了一種將白金分佈在這種膜表面上的方法。進而製造出所謂的「Grubb-Niedrach 燃料電池」，此後，GE 繼續與 NASA 合作開發這一項技術，而於 1962 年順利應用於雙子星太空任務中(Gemini space missions)。

二十世紀初期，飛機製造商普惠公司(Pratt & Whitney, P&W)取得的培根鹼性燃料電池的專利後，便著手進行減輕重量之設計，而成功開發出比 GE 的質子交換膜壽命更長的鹼性燃料電池。此後，NASA 的幾項太空飛行計畫的供電系統合約都是由普惠公司所取得，其中最著名的一項就是提供鹼性燃料電池作為阿波羅登陸月球任務(Apollo space missions)的太空船動力。後來包括太空梭的多次太空飛行任務，也都是採用鹼性燃料電池作為動力源。儘管鹼性燃料電池在航太應用上有優異的表現，然而卻遲遲無法有效地推展到地面上的民生用途。

1973 年發生石油危機後，世界各國普遍認知到能源的重要性，因此，各國紛紛積極制訂各種能源政策以期降低對石油進口的依賴性。其中，在提升能源使用效率與能源多元化的考量下，再度引發了人們對燃料電池的興趣。此後，為數不少的民營公司與機構以及政府部門開始認真地思考燃料電池地面應用的可行性，並積極研究如何克服燃料電池商業化所遇到的瓶頸與障礙。1970 年代到 1980 年代的二十年之間，燃料電池的研發工作大都集中在開發新材料、尋求最佳的燃料來源、以及降低成本等方面，例如，杜邦公司於 1972 年成功地開發出燃料電池專用的高分子電解質隔膜 Nafion。直到 1990 年代，也就是 Grove 爵士發明燃料電池之後的一個半世紀，與當時揭開第一個燃料電池面紗那種難掩興奮與激動的心情一樣，一種廉價、乾淨、可再生的能源使用方式終於即將面臨而成為事實，而這項技術在民生運用上的重要里程碑就是加拿大巴拉德動力系統(Ballard Power System)公司在 1993 年所推出的全世界第一輛以質子交換膜燃料電池(proton exchange membrane fuel cell, PEMFC)為動力的車輛。

進入二十世紀的今天，全世界各地已經有許多醫院、學校、商場等公共場所都

已經安裝了燃料電池進行並聯供電或示範運轉，而主要的汽車製造商也已經開發出各種燃料電池原型車輛，並在進行路測中。在北美和歐洲的許多城市以燃料電池為動力的公共汽車正在投入示範運行。此外，以燃料電池作為攜帶式電子產品動力的發展，也正在如火如荼的展開中。十九世紀所揭露的科學上的奇特事件即將成為二十一世紀以及以後年代的主流能源使用方式。

2-3.2 燃料電池的優點

A. 效率高

傳統內燃機(發電機)要將例如煤、燃油、瓦斯等物質的化學能轉變為電能的發電過程，是由燃料混合氧、先轉變為熱能、機械能，再轉變為電能的複雜程序，因此一般只有 30%左右的效率。反之，燃料電池的能量轉換效率非常高，它是利用輸入燃料混合氧，不經過轉換機械能便能持續產生熱能及電力，也不須傳統二次電池所需的充放電程序。以氫氣及氧氣為燃料，利用觸媒加速反應速率，燃料電池可直接將化學能轉變為電能，其效率可接近 40%，若再包括回收餘熱，效率更可輕易超過 65%。而且只要正常使用下，燃料提供無虞，目前依照官方說法並無使用時間上的限制。

B. 乾淨

燃料電池的發電過程幾乎沒有造成任何污染。如果以 11 百萬瓦燃料電池的發電廠為例，電廠運轉的氮氧化物排放量為 1ppm，也沒有硫氧化物及粒狀污染物，比目前最清潔的天然氣發電廠還乾淨，同時具備低噪音、安靜等特色。

C. 噪音低

燃料電池以氫氣為主要燃料，以化石燃料(fossil fuel)來提煉富氫燃料作為燃料電池之燃料時，製取過程中二氧化碳的排放量比熱機過程減少 40%以上，可以有效地減緩地球溫室效應。其次，由於燃料電池所使用的燃料氣體在反應前必須脫硫，而且燃料電池發電不經過燃燒，所以它幾乎不排放 SO_x 及 NO_x ，減輕了對大氣的污染。當燃料電池以純氫為燃料時它的產物只有純水。

D. 進料廣

全球正以非常快的速度耗盡幾十億年來大自然所儲存的能源與資源，基本上煤炭、石油等化石燃料及天然氣是非再生能源相是無法補充的，而核能的安全性備受質疑，太陽能的能量密度低是否能夠真正取代現有的能源使用方式，還是個問號。對燃料電池而言，只要含有氫原子的物質都可作為燃料進料來源，例如天然氣、石油、煤炭等氣化產物，或是沼氣、酒精、甲醇等，因此，燃料電池非常符合能源多元化，可以減緩主流能源的耗竭。

E. 用途多

燃料電池的發電容量由單節電池的功率有數目決定，無法發電規模大小均能保持高發電效率，因此，它的機組大小與發電規模具有彈性。目前發展中燃料電池所能提供的電力範圍在 1W~1000MW 之間，因此，可應用的產品也非常多，包括可攜式電力、車輛電力、現場型汽電共生電廠、分散型電廠、以及集中型電廠。

2-3.3 燃料電池的原理

燃料電池是利用氫與氧起化學反應變成水狀時的化學源直接變成電力的發電裝置。即一般含有豐富氫原子的天然氣已可推動燃料電池發電。燃料電池之基本原理如下圖所示，它的基本原件是兩個電極夾著一層高分子薄膜之電解質。陰陽兩極，除碳粉外也包含白金粉末，以達最佳催化作用。

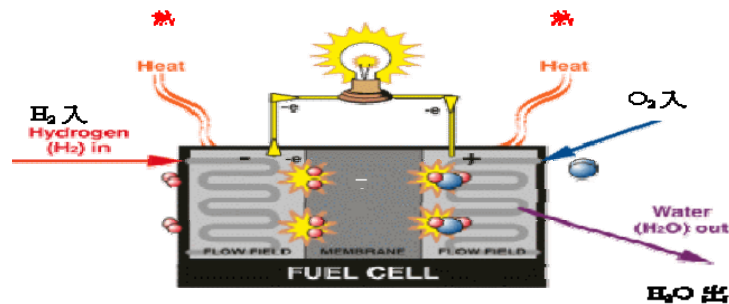


圖 1 燃料電池之基本原理

陽極：

氫分子氣體輸至多孔之陽極後，經過質傳到達陽極，於催化下分解反應：

$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$ 電子由陽極導至外接電路，形成電流。而氫離子也由陽極端，透過可導離子性質（電子絕緣體）之高分子薄膜電解質，抵達陰極。

陰極：

空氣輸至陰極，氧氣分子質傳至陰極，與電子及氫離子起電化反應，而產生水及電壓。反應如下： $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$ 。

2-3.4 燃料電池之種類

燃料電池有多種的分類方式，如以燃料電池之電解質 (electrolyte) 來區分，它可分為下列五種：

A. 高分子膜燃料電池 (PEFC)

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°C 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。

B. 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。

C. 磷酸燃料電池 (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°C 之間，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。

D. 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°C，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。

E. 固態氧化物燃料電池 (SOFC)

其電解質為氧化鋯，因含有少量的氧化鈣與氧化釷，穩定度較高，不需要觸媒。一般而言，此種燃料電池之操作溫度約為 1000°C，廢熱可回收再利用，因此大都使用於中規模發電機組。

2-3.5 各種類燃料電池之優缺點

表 1 各型燃料電池比較表

電池種類	磷酸(PAFC)	熔融碳酸鹽	固態氧化物	鹼性	質子交換膜
電解質	H ₃ PO ₂	Li ₂ CO ₃ -K ₂ CO ₃	ZiO ₂	KOH	含氟質子交換膜
陽極	C(含 Pt)	Ni(含 Cr/Al)	金屬(含 Ni/Zr)	C(含 Pt)	C(含 Pt)
陰極	C(含 Pt)	NiO	金屬氧化物	C(含觸媒)	C(含 Pt)
流動離子	H	CO ₂	O ₂	OH	H
操作溫度	170-220 度	-650	-1000	室溫-100	80-100
操作壓力	<120psia	<120psia	常壓	<60psia	<30psia
反應力	混合氫氣	混合氫氣	混合氫氣	高純度氫氣	混合氫氣
可用燃料	天然氣、甲烷、輕油	天然氣、甲烷、石油、煤炭	天然氣、甲烷、石油、煤炭	精練氫氣、電解副產氫氣	天然氣、甲烷
液體燃料	石墨	鎳、不銹鋼	陶瓷	合成樹脂	石墨
特性	進氣中會導致觸媒中毒廢熱可利用	不受進氣 CO 影響 高溫反應，不需依賴觸媒的特殊反應 廢熱可利用	不受進氣 CO 影響 高溫反應，不需依賴觸媒的特殊反應 廢熱可利用	需使用高純度氫氣為燃料 低腐蝕性及低溫較易選擇材料	功率密度高，體積小，重量輕 低腐蝕性及低溫，較易選擇材料
優點	對 CO 不敏感	可用空氣作氧化劑 可用天然氣或甲烷作燃料	可用空氣作氧化劑 可用天然氣或甲烷作燃料	啟動快 室溫常壓下工作	壽命長 可用空氣作氧化劑 室溫工作 比功率大 啟動迅速 輸出功率可隨意調整
缺點	對 CO 敏感 工作溫度高 成本高 低于峰值功率輸出時性能下降	工作溫度較高	工作溫度較高	1 需以純氧作氧化劑	對 CO 較敏感 反應物需要加濕
電池內重組可能性	可能	非常可能	非常可能	不可能	不可能
系統效率	40%	50%	60%	60%	40%
轉換效率	40%	>60%	>60%	70%	60%

2-3.6 國內外燃料電池發展現況

A. 國內：

- (a)經濟部能源局：從西元 2002 年開始擬定一個五年計畫，每年投入近億元經費，培養本土人才，希望到民國九十五年時能夠製造出功率 3kw 的燃料電池，它產生的電力將足供四口之家使用。
- (b)行政院能資所：規劃在未來 4 年內，開發 3~5kw 小型家用 PEM 燃料電池，包含電池堆、燃料重組器及關鍵材料。
- (c)元智大學：燃料電池中心詹世弘教授（校長）主持之「高效率低污染之燃料電池系統關鍵技術開發三年計畫」，其以四大關鍵零組件技術-「膜電極組奈米微結構設計與製作」、「雙極板替代性材料研發」、燃料電池系統設計的「流道設計與水熱管理技術」、「電力電子與監控技術」之研發做為核心技能 (corecompetencies)，以建立台灣燃料電池產業發展基礎，預估計畫技術成熟後，將帶動車輛、燃料、電力革命性的產業結構變化，對國內電動機、自行車、3C 產業、攜帶型發電系統、不斷電系統 (UPS) 等相關產業未來五年內可望創造十億元以上之產值，而燃料電池高效率低污染之特性，對生態環保及污染減量亦將有重大影響與貢獻。
- (d)大學燃料電池中心：台灣目前唯一研發燃料電池的廠商，則主要發展 PEMFC 質子交換膜燃料電池，它的發電功率可從 1W 到 250kW (250kW 約是供應醫院、旅館等現場型發電機組所需電力)，這範圍內的燃料電池剛好適合替代傳統引擎，成為不同交通工具的動力來源。
- (e)台電公司：於西元一九九四年與工研院能資所合作，率先在台北縣樹林鎮電力綜合研究所內設置我國第一座 2000KW 級的燃料電池發電廠；一九九五年，電廠完成裝機後，開始進行一連串的測試研究，針對燃料電池的操作技術持續累積實務經驗。

B. 國外：

- (a)本田與豐田：於西元 2002 年底前運到洛杉磯出租給市政府試用，而另外 4 輛也在 2003 年年底前運到洛杉磯出租給市政府使用。宣稱還需要十年時間才能使這項技術更完美。第一輛 FCV 車可攜帶 41 加侖的氫，行駛範圍為 220 哩，最高時速為 96 哩，有四個座位，已經檢驗為零污染，水及熱是唯一的排放物質。本田計畫未來兩到三年裡，在加州及日本出租 30 輛氫汽車供人使用作實地測試 (Field Test)，但並沒有大量市場行銷或銷售給個人的立即計畫。全加州已有 2 個氫氣加氣站，目前正考慮增設第三個加氫氣站。

- (b)日產 (Nissan)：積極開發燃料電池，決與美國聯合科技 (UT) 集團合作開發汽車用燃料電池。開發燃料電池需要龐大費用，燃料電池尤其需要特別的技術，因為必須耐振動和高溫，日產希望和 UT 集團合作，迎頭趕上豐田及本田。
- (c)Daimler-Chrysler 於 2003 年在歐洲、亞洲及美國推出 60 輛燃料電池車作實地路測。
- (d)Ball Aerospace & Technologies Corp：發展出質輕而且可長期供電的可攜式燃料電池系統給美國國防部使用，該系統可用來替代傳統式電池或者馬達發電機，每 12 伏特或 24 伏特可產生 100 瓦以上的電力，氫的儲存可以供應每小時 13 千瓦以上的能量。
- (e)以氫氣做為燃料而使用燃料電池設立發電廠方面：西元 2003 年 3 月 14 日洛杉磯市水電局已在其大樓北側安裝啟用一台，為北美洲規模最大，效率最高的燃料電池發電廠。燃料電池發電廠使用最新科技，能夠在自身的燃料電池中製造氫氣，達成利用原有的天然瓦斯輸送系統製造以氫發電的經濟。這座電廠大小如同一輛卡車，一間間的「小房間」經過處理便能產生電力，可提供 250 萬千瓦電力，足夠 250 戶住家使用。這座電站將電力送至洛杉磯發電中樞，每千瓦使用的燃料僅達傳統發電廠的一半，發電過程中產生的污染幾乎為零。
- (f)美國聯邦政府能源部長 (Federal Energy Secretary Spencer Abraham) 於 2004 年 2 月 27 日宣佈，聯邦政府將提供 3 億 5 千萬美元計畫贈款，加上民間基金款項 2 億 2 千萬美元，將在未來 5 年內，由加州州政府推動建造一條氫氣高速公路，闢建氫氣加氣站，未來 5 年內將由 5 組汽車製造廠商提供 150 輛以氫氣為燃料的燃料電池車在高速公路上行駛，此種燃料電池汽車由於以燃料電池及氫氣作為動力，排放水蒸汽不製造二氧化碳污染為訴求，是布希總統所提 12 億美金發展氫氣科技及燃料電池提倡計畫的一部份，將在未來 5 年內推動燃料電池汽車及氫氣加氣站。
- (g)美國 QUANTUM Technology, Inc：發展成本低及安全性高的高壓氫氣儲存系統。
- (h)美國 ChevronTaxaco Technology venture：發展能供給 50-kw 之天然氣燃料處理裝置，目標系統效率 > 85%，CO 濃度 < 10ppm，H₂S < 50ppb，系統壽命 > 4,000 小時。

- (i)美國 Johns Univerisy Applied Physics Laboratory：發展以碳纖化物及環氧樹脂包攬支撐儲槽方式，以改善重量能源濃度構造。
- (j)美國 Quantum Fuel System Technologies Worldwide Inc 提出氫氣混合貯槽計畫，證明能有效地儲存 10,000 psi 之貯槽。
- (k)冰島啟動能源革命時代，2003 年四月 24 日啟動新氫氣經濟世界第一座氫填充站利用 Reykjavik 原有的殼(Shell)牌加油站就要開張了；這是冰島新能源公司的 ECTOS 專案，應用 Norsk Hydro 電解技術，由水產生氫氣。
- (l)氫燃料之效益及成本分析(Michael Wang and Marianne Mintz Argonne National laboratory 2003 Annual TRB Meeting January 15, 2003 Washington, DC)

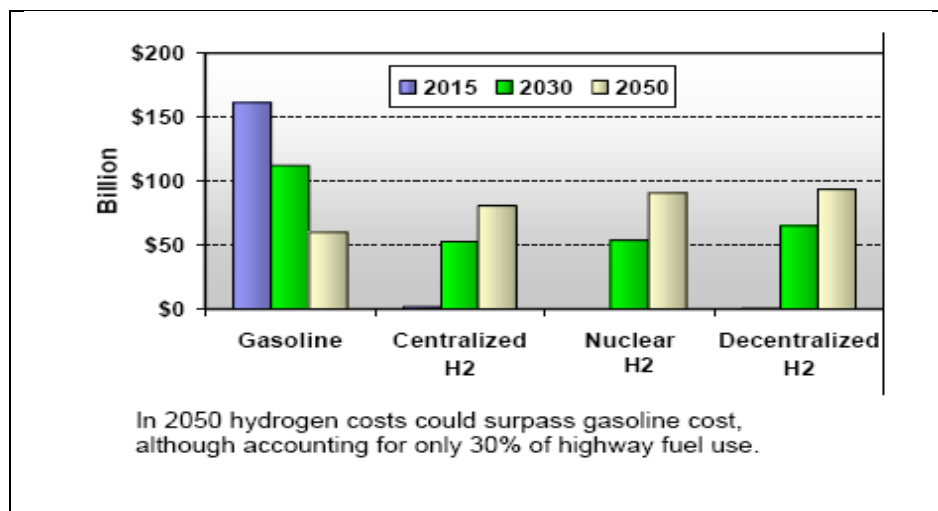


圖2 使用氫及汽油作為燃料之成本分析

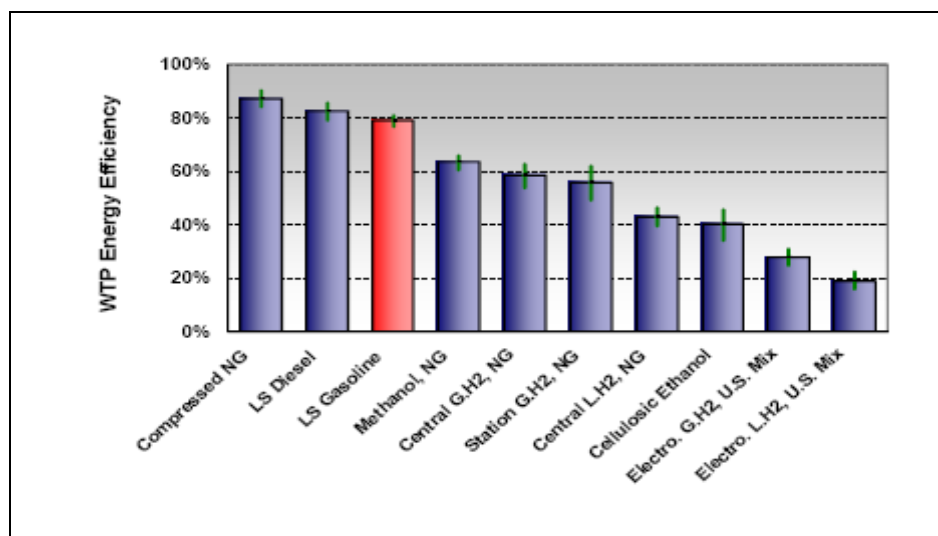


圖3 WTP 能源效率分析

(k)對於燃料電池車所選擇之燃料分析(Well to Wheels): (Michael Wang Center for Transportation Research Argonne National Laboratory 2002 Fuel Cell Seminar Palm Springs, California Nov. 18-21, 2002)

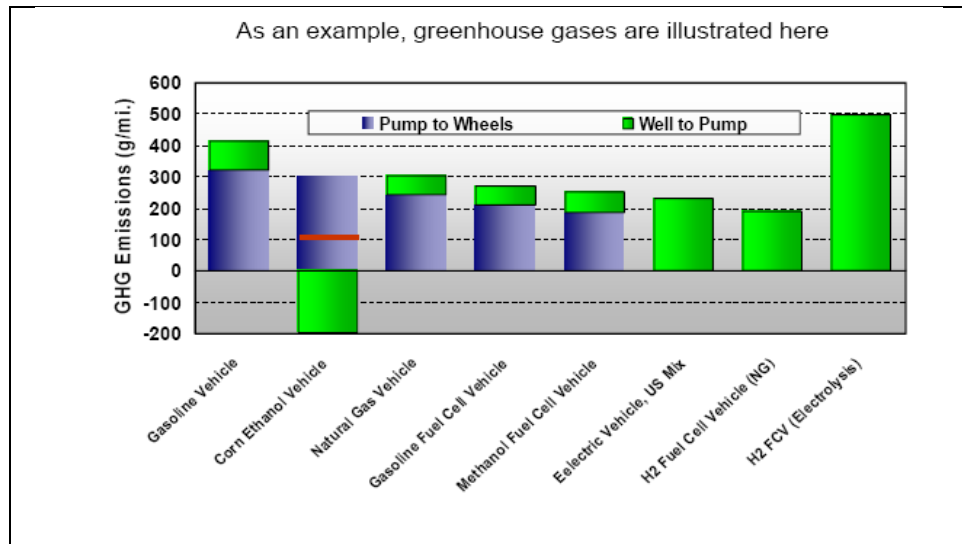


圖 4 溫室氣體分析比較結果圖－ WTW

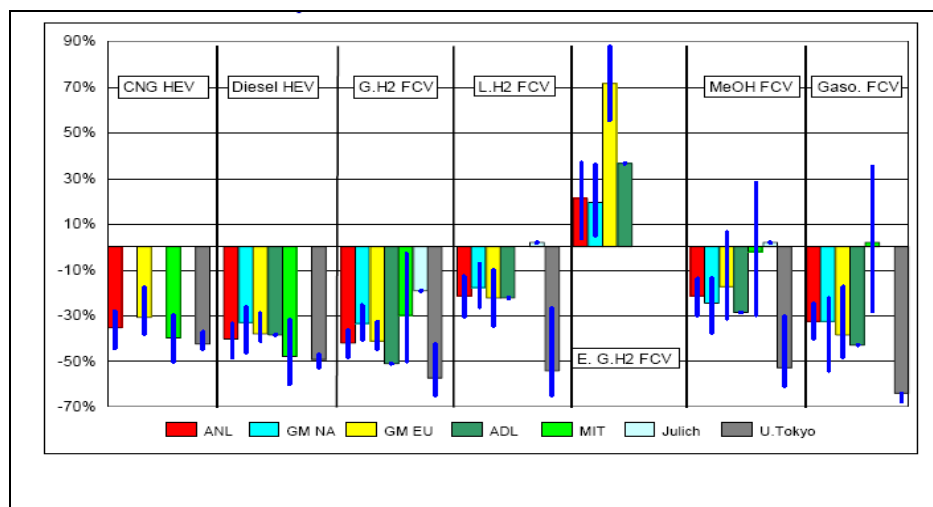


圖 5 從油井到車輛操作分析

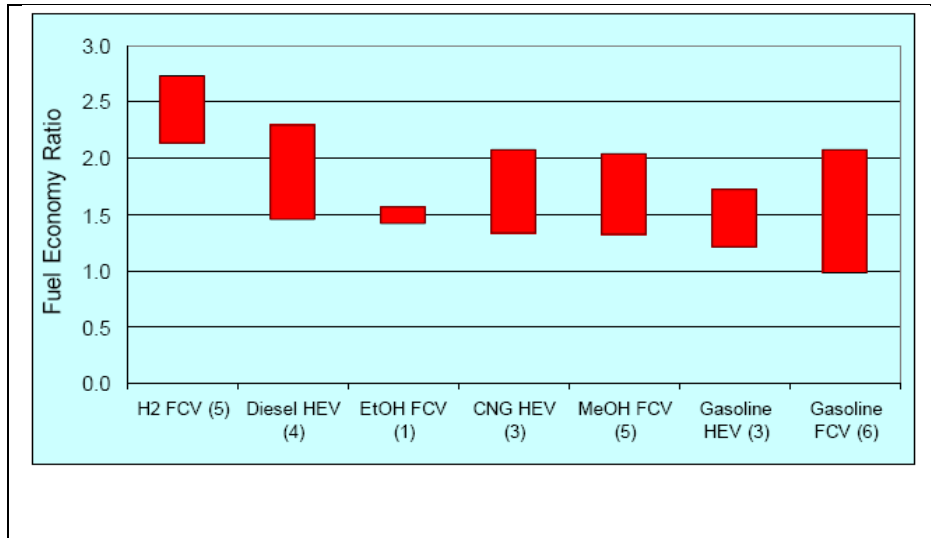


圖 6 燃料電池車與複合式車輛燃料經濟性比較圖

2-4 執行方法

2-4.1 製成方法

燃料電池主要燃料是氫氣，氫氣是將甲醇、汽油等液體燃料重組為富氫氣 (hydrogen-rich) 氣體燃料，提供予燃料電池反應，其轉換技術說明：

A. 若以原料的來源來區別，氫氣的生產方法可以分為兩大類，一類是由化石原料製氫，主要商業化的製程有：

(a) 蒸氣重組法

最有效率且最廣泛被用來製造氫氣的製程，其係利用蒸氣與低碳素的石化原料(常用的是甲烷)反應產生氫氣及二氧化碳的程序，其反應可分為以下兩個主反應其化學反應式如下：

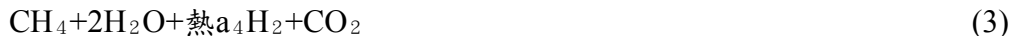
合成氣 (Synthesis gas generation) 生成反應：



水-氣轉化反應：



總反應：



其簡單的流程如上述反應式所示，因為此反應所使用的鎳觸媒會遭到硫份的毒化，故甲烷在進入重組器之前要先進入脫硫器脫硫，使硫含量降至 0.5ppm 以下，以免毒害觸媒；常用的脫硫法有活性碳法、鹼洗法、胺洗法、酸洗法，加氫脫硫法等，其中活性碳法、鹼洗法、胺洗法適用於氣體原料；酸洗法、加氫脫硫法則適用於液體原料，此外還有氧化鋅法與氧化鐵法適用於除去硫化氫。此反應為高度吸熱反應因此重組器需要燃料燃燒加熱，藉由空氣與燃料反應產生蒸氣與熱，使反應溫度維持在 650~700°C 左右，壓力依操作條件不同可操作於 102.9~705.6 psi 之間。因為是大量吸熱反應，故所使用的觸媒要傳熱快才好，可以使用 Ni/Al₂O₃ 觸媒，於重組器內催化導入的甲烷氣和蒸氣反應，其導入蒸氣與碳素比例為 3.5:4.5，重組器出口氣體溫度在 870~885°C 之間，壓力於 323.4~352.8 psi 之間，甲烷轉化率可達 95%，組成為 76%H₂，12%CO，10%CO₂，1.3%CH₄ 與少量水蒸氣，重組器出口氣體經由熱交換器將一部份的熱與蒸氣回流，再進一步於轉化器內用鋁為擔體的銅鋅觸媒溫度於 200~300°C 之間進行水-氣轉化反應，生成 86%H₂，22%CO₂，0.25%CO，1.3%CH₄，或用鉻-氧化鐵觸媒催化於 340~350°C 之間，將一氧化碳轉化成二氧化碳，以得較高之轉化率，由轉化器出來的氣體進一步進入二氧化碳回收系統，於此系統中將氣體重新加熱至 315°C，藉由氧化鎳觸媒將二氧化碳轉化成甲烷，並回收作為進料，移除二氧化碳之後再進一步純化得到所要的產品氫氣(98%)。故此製程並無二氧化碳排放問題。

(b)部分氧化法(Partial Oxidation)

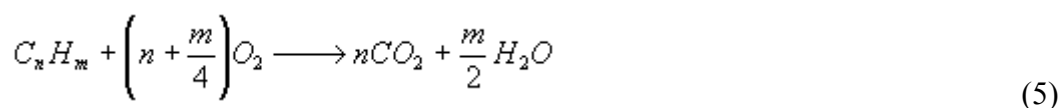
水煤氣法與水蒸氣重組法均需要由外界提供熱量，因此研究如何由內部反應所產生的反應熱提供所需的熱量，遂開發出部分氧化法。早期採用固體燃料通入氧氣之部分氧化法，後來改用液體燃料法，但因為此法有要使用觸媒的缺點限制原料於狹窄範圍，因而有高壓法不需使用觸媒的製程被開發出來，此法可以使用氣體及液體燃料，亦可使用固體燃料，自天然氣至煤焦油甚至於瀝青均可使用。目前商業化的程序有 BASF 法，Texaco Process(1954)，Hydrocarbon Research 法及 Shell Process(1956)；使用的原料包括從甲烷到石油殘渣（種質油）的全部烴類。

部分氧化法係將預熱的原料，以比化學理論劑量少的氧氣與水蒸氣，於無觸媒條件下，於燃燒器中反應，其所產生的熱可供作轉化器中蒸氣重組之用。藉由控制烴、氧及蒸氣之進料可得氫及一氧化碳含量高達 96%，其中氫及一氧化碳的比率可以由操作條件來加以控制。

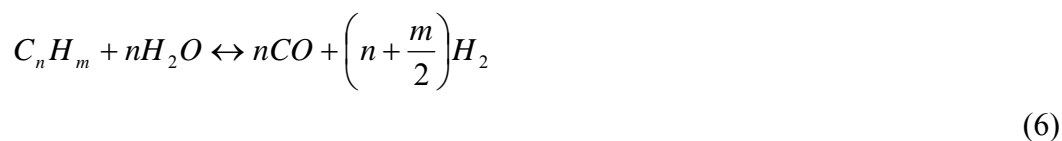
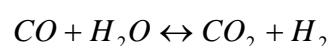
其總反應式如下：



其中 n 及 m 視進料烴的成分而定，此程序是將經過特殊設計的預熱器預熱過的氧氣、蒸氣及碳氫化合物由噴嘴充分混合噴入一個密閉的燃燒器 (1250-1500°C, 3-8MPa) 進行反應，如果是使用液體烴為原料，則需另外通入蒸氣以補充所須之熱，若使用固體進料時，固體進料懸浮於水中，需經預熱器加熱蒸發水分後，再進入燃燒器進行反應。



實際的反應很複雜主要可以分為以下三類反應



若以甲烷為例其反應式如下



反應生成氣體中含有一氧化碳、二氧化碳、氫及其他雜質，合成氣需要的成分及其比率依用途而異，需要做不同的處理與精製，若要製純氫氣可由吸收塔去除雜質，轉化器將一氧化碳進一步氧化成二氧化碳，再經酸氣移除系統可使用碳酸鉀或乙醇胺將二氧化碳移除，最後經由純化器純化可以得到 97% 的氫氣。

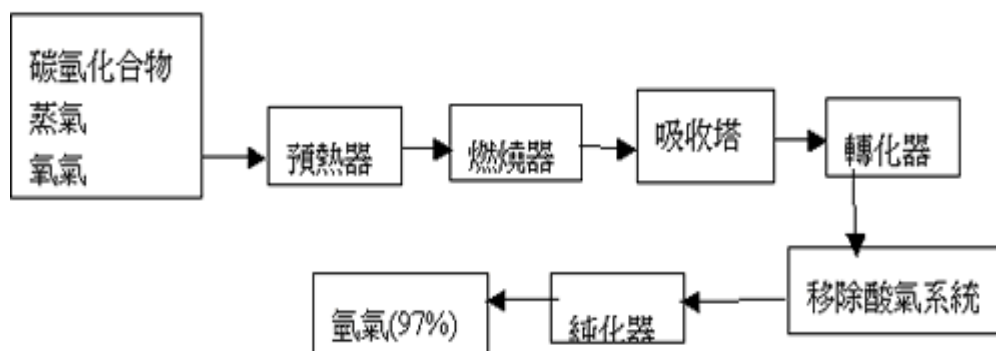


圖 7 部分氧化法之製程示意圖

(c) 水煤氣法(Coal Gasification)

二次大戰以前幾乎所有合成氣（及氫氣與一氧化碳混合氣）均來自於焦炭，其製法為將蒸氣與空氣替換週期性通入炙熱之焦炭床，每數分鐘為一週期，通入空氣時燃燒焦炭以加熱至 1000°C 左右，通入蒸氣時即發生水煤氣反應：



此法之缺點為需設廠於生產煤焦之地點附近，因而受地區之限制，若在大氣壓力下操作，氣體設備要有較大空間，若用於高壓製程時需要高昂的氣體壓縮費用。

新式的水煤氣法係將經過粉碎後粒徑約 90μm 左右的煤粒，懸浮於水蒸氣及氧氣的環境中快速氧化。其流程示意圖如下所示。常壓下的製程有 Koppers-Totzek 程序，高壓的程序有 Texaco 和 Shell-Koppers 製程。以 Koppers-Totzek 程序為例，經由汽化槽出來的氣體先經過熱交換器將熱回收並以水淬火來移除煤灰，再進入壓縮器，於轉化器中將一氧化碳進一步氧化成二氧化碳，再經酸氣移除系統可使用碳酸鉀或乙醇胺將二氧化碳移除，最後經由純化器純化可以得到 97.5% 的氫氣。

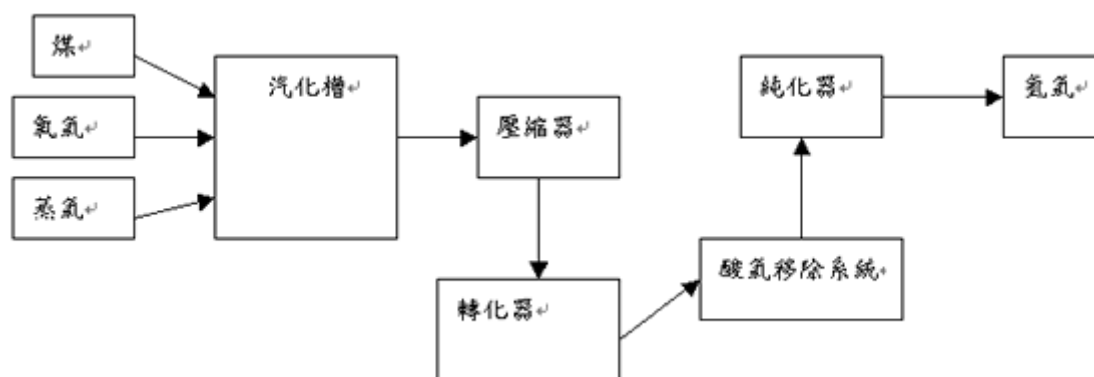
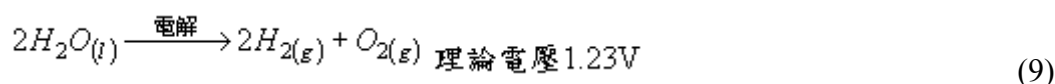


圖 8 水煤氣法之製程示意圖

B. 非化石原料製氫法，主要製程有：

(a) 水解法 (Water Splitting)

水電解法是靠直流電將水電解，於負極產生氫氣正極產生氧氣的方法。其反應式如下：

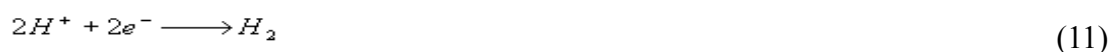


傳統的水電解法是使用鹼性溶液作為電解液，石綿作為隔離膜，以雙極板的設計方式來電解水，陰極使用鐵板，陽極使用鎳板，因為有過電位的關係，操作電壓為 1.9~2.4V，效率為 47%~64%，若改用多孔性鎳電極以增加反應面積時，則操作電壓可降為 1.65V，效率 75%。

其陽極反應式為：



陰極反應式為：



目前工業上的水電解法係採用固態高分子電解質 (Solid Polymer Electrolyte, SPE) 的電解槽設計，以氟化與磺酸化之強離子交換膜為電解質，類似燃料電池的逆反應，使用白金為電極，操作溫度為 150°C，電壓 1.6V，電流密度 100A/cm²，此種製程的效率約 80% 左右。其流程如下圖所示。此外，有開發高純度氫氣之製法。使用一氧化碳或甲烷把水蒸氣分解，屬於氧氣濃淡電池的方法，如示意圖所示。使用安定化氧化鋯做膜，其表面鍍上銀以加強活性，此法只要通入 700°C 的水蒸氣就會產生氫氣與氧氣，收集氫氣，而氧變成氧離子，移動透過膜後與一氧化碳或甲烷反應，生成二氧化碳與水，目前生產力為 1μmol/min，將膜家電壓時可能加快反應，此法的成本不高，具有發展潛力。

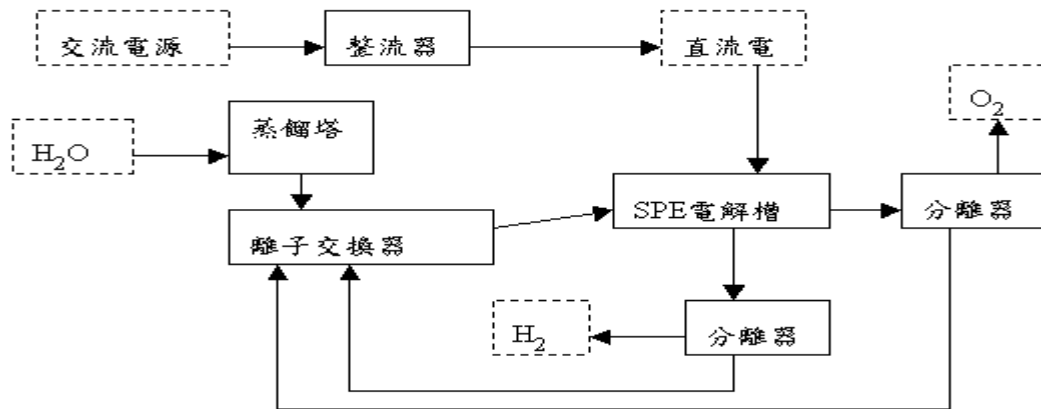


圖 9 水解法之製程示意圖

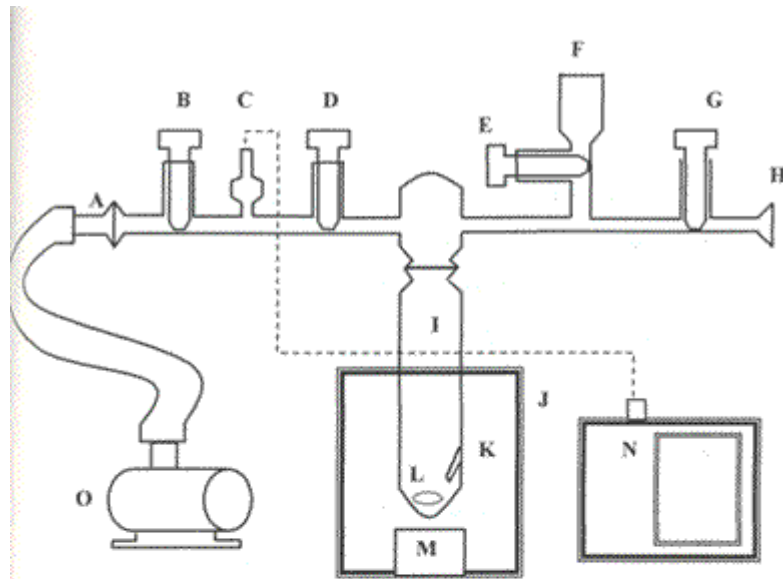
(b)水光電解法(Photoelectrochemical Water Splitting)

水光電解法之反應式如下：



水光電解法依光觸媒的不同可以分為以下三大種類，分別為勻相光觸媒系統(Homogeneous Photocatalytic System)、非勻相光觸媒系統(Heterogeneous Photocatalytic System)與光生物學系統(Photobiological System)。

勻相光觸媒系統係指光觸媒與反應物皆處於同一相內，一般均為液相，於此反應系統中必需存在光觸媒、可回復性的電子傳遞物、還原觸媒與氧化觸媒及水；反應起始於受光激發的光觸媒，它與電子傳遞物接觸而使電子傳遞物上分別帶正、負電荷；再藉由還原觸媒當媒介讓帶負電荷的電子傳遞物與水(電子接受者)相結合，進而使水分解產生氫氣，同時藉氧化觸媒讓帶正電的電子傳遞物與水結合而產生氧氣。典型勻相光觸媒為Ru(bipy)₃²⁺，以Methyl viologen為電子傳遞物，EDTA為電子提供者氫氣最高產率可達 6.5 ml/hr。非勻相光觸媒系統係指光觸媒本身與反應物或反應系統內某些物質是不同相的，通常光觸媒為固態並同時兼具光吸收與催化水分解之能力，反應物為液態或氣態，近年來由於半導體材料被不斷的開發與改良，發現部分半導體材料可以經由光照激發所產生的電子與電洞來對水進行分解的反應，可以作為固態光觸媒，常見的光觸媒有鍺化合物(p-GaAs, n-GaAs)、TiO₂單晶、ZrO₂、K₂La₂Ti₃O₁₀等。光生物學系統係利用含有葉綠素的有機體吸收光能，再配合酵素系統催化來達到產生氫氣的目的。



- | | |
|-------------|-----------------|
| A : 外接真空幫浦 | I : 光反應管 |
| B : 氣密閥 I | J : 光反應之照光儀器 |
| C : 樣品抽取槽 | K : 熱阱, 外接溫度感測器 |
| D : 氣密閥 II | L : 攪拌子 |
| E : 氣密閥 III | M : 電磁攪拌器 |
| F : 外接壓力計 | N : 氣相層析儀 |
| G : 氣密閥 IV | O : 真空幫浦 |
| H : 空氣流入處 | |

圖 10 水光電解法之製程示意圖

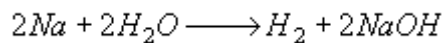
(c) 實驗室中少量製氫法(Laboratory Miner Hydrogen Production)

於實驗室中若無氫氣鋼瓶或只需要小量的氫氣，可以考慮自製氫氣，一般於實驗室中少量製氫的方法有三種：

(a) 使用酸液和金屬反應，例如將鋅粉至於鹽酸溶液之中，其反應式如下：



(b) 將鹼金族等活性較大的金屬與水反應，例如將鈉與水反應，其反應式如下：



(c) 電解含有電解質水溶液，於電解槽中陰極的反應式如下：



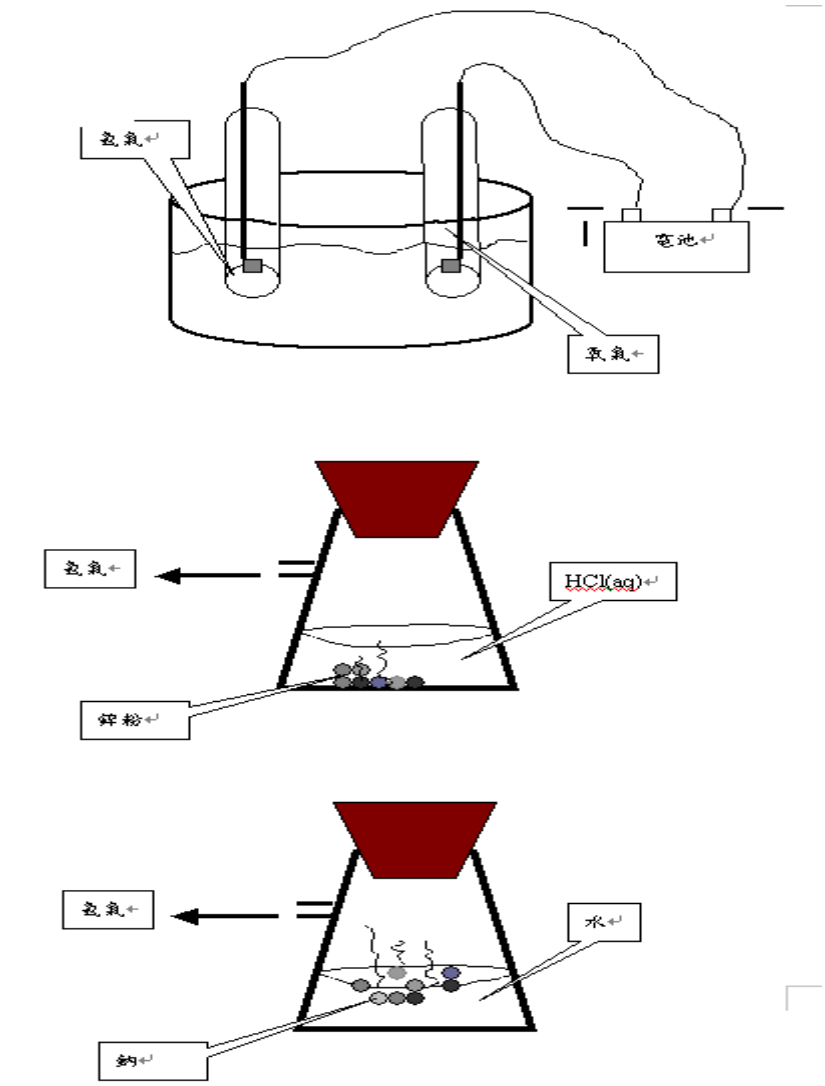


圖 11 電解法之製程示意圖

2-4.4 氫氣的運輸、儲存、貯裝、產製、輸送之能量損耗

A. 氫氣的運輸技術

在氫氣的運輸技術，可以分為境內氫氣運輸和境外氫氣運輸兩方面來討論。境內氫氣的運輸技術以氫氣管線運輸為主，卡車運輸或火車運輸為輔；境外的氫氣運輸技術則以船舶運輸為主。

B. 氫氣產製之能量損耗

氫雖為地球上最豐沛的元素，但自然環境中並不存有可直接利用之氫氣，必須自水或碳氫化合物（如石化燃料、生物）中提取，現行工業用氫氣大部份（近 90%）為天然氣與水蒸氣重組（steam reforming）產生，其餘為以水電解（electrolysis）製成，前者係將天然氣化學能轉換成氫氣化學能、轉換效率約為 85%，後者是將電能轉換成氫氣化學能、轉換效率約為 75%，即生產 1 單位能量的氫氣需耗費 1.2 到 1.4 單位能量的石化燃料或電，也意謂以氫氣為燃料會排放更多的二氧化碳溫室氣體，除非是以可再生之生物質（biomass）為原料或以再生能源所發的電來產製氫。

C. 氫氣貯裝之能量損耗

(a) 氫氣壓縮之能量損耗

氫氣壓縮所需要能量遠大於甲烷。據每一小時壓縮 1000kg 氫氣之實廠數據計算，氫氣壓縮至 200 bar 所需耗費能量約為被壓縮氫氣所含能量（HHV）之 7.2%，至 800 bar 所耗費能量約為 10%。

(b) 氫氣液化之能量損耗

冷凝過程非常耗費能量，實際運作數據隨所採行程序、操作妥善度及操作容量而定。液化容量 100 kg/hr 之工廠必須耗費 40~60MJ 電能來液化 1kg 之氫氣，小型液化廠所需耗費能量將可能超過其液化氫氣所含能量，而容量達 10,000 kg/hr 之大型液化廠，也需要耗費其液化氫氣所含能量之 30%。

D. 氫氣貯存之能量損耗

以氫化金屬（metal hydrides）吸附或形成氫化鹼金屬（alkali metal hydrides），為目前除壓縮及液化外已可選擇之商業化氫氣貯裝技術，由於其型式太多致無法取得代表性之能量耗損數據。

E. 氫氣輸送之能量損耗

(a) 陸路輸送之能量損耗

現有 40 公噸油罐車最多可裝載 25 公噸甲醇或汽油及 20 公噸丙烷，200 bar 壓力之壓縮氣槽車則最多可裝載 3.2 公噸甲烷或及 320 kg 氫氣。於 500 km

運送距離內，運載液體燃料所消耗能量不及被運送燃料所含能量之 5 %，但運載氫氣之能量損耗則超過被運送氫氣所含能量之 90%。此外，需要 21 車次氫氣槽車才能運送與一車次汽油油灌車相等之能量，如此所增加之交通負荷及安全風險，恐無法為交通部門及社會大眾所接受。

(b)管線輸送之能量損耗

依實際運作數據統計約每 150 km 管線會損耗 0.3% 天然氣來供加壓，而氫氣因單位容積所含能量低，故其流量需為天然氣流量之三倍，雖然黏滯度較低可抵消部份增加之磨擦阻力，但加壓所損耗能量仍比天然氣高出 4.6 倍，據此估算每 150 km 會損耗 1.4% 天然氣來供管線加壓。

F.加氣站現址產氫之能量損耗

為直接在加氣站以水電解來產生氫氣。惟以每日供應 100 至 2000 部車輛燃料所含之能量估算，每日需消耗 15 至 305 m³ 的水量，以及供電網路是否可以負荷，均是必須再加斟酌的問題。

G.氫的儲存技術

(a)固定式大型儲存系統

適用於氫氣生產工廠的管線末端，用以儲存大量氫氣，通常使用高壓及低溫法儲存，因此儲存系統包含壓縮機以及冷卻系統

(b)固定式小型儲存系統

此種儲存系統適用於需要氫氣為進料之工廠，其規模視工廠需求而定

(c)可移動式的儲存系統

包括大型的可移動式儲氫槽與小型的儲氫卡車

(d)燃料用儲存系統

此種儲氫方式是要供給氫氣作為公車或汽車或機車等交通工具作為燃料用，常用的方式有儲氫高壓鋼瓶，或低壓的儲氫合金鋼瓶等。

儲氫的方式有很多種，若依照儲存狀態來區分，可以分為氣態高壓儲氫法，液態儲氫法，儲氫合金吸放氫法及微碳管吸放氫法等。其中高壓儲氫法與液態儲氫法是傳統的儲氫方式，這兩種方法適用於需要使用或生產氫氣的工廠中，若要作為交通運輸工具的燃料用，則以儲氫合金吸放氫的方式較為合適，由於氫在儲氫合金當中，相當於固態氫，因此所需壓力不大，使用時，氫由儲氫合金中釋出，汽化成氫氣並吸收大量熱能，因而儲氫合金於放氫的同時溫度會下降，反之，於充氫時溫度會上升。至於微碳管吸放氫的方式是目前正處於研發

啟蒙階段的方式，其原理是運用人工合成的微碳管，即 10-9m 大小的碳纖維管來吸氫，因為氫分子於微碳管中很小的空間內即相當於在外界受到很大的壓力之情形，因此很容易儲存於微碳管之中；目前微碳管已被人工合成出來，將來要如何量產微碳管、並製程穩定度高與可多次充放氫的產品，是研發的課題。

純氫氣燃料，似乎是燃料電池電動車未來可能普及化的燃料供應方式，然而氫氣的儲存卻是另一問題點，目前即使是氣密性最佳的燃料容器，放置一週很可能即漏失完畢！可能的現象是，週末有事未出門，隔週出門時氫氣容量所剩無幾甚至完全漏失完畢。氫氣燃料儲存方式有高壓儲氫(compressed hydrogen gas)，可能引發安全上的顧慮，理論上較高的壓力儲氫量越多，惟儲氫材料、容器價昂，尤其是燃料電池電動車，這種移動式載具必需嚴肅考量碰撞的安全性；低溫儲氫，要儲存氫氣燃料於 -273°C 環境且應考慮前述漏失問題，其所需低溫儲存處理的能量消耗亦不容忽視；較安全且可行的儲氫合金(metal hydride)，其儲存效率多在 1.5~2.0wt%，儲存效率仍有極大的改善空間。

燃料重組，最大的問題在於重組過程中造成的高溫現象，甲醇重組時溫度約 300°C ，汽油重組時的溫度則高達 800°C (碳與氫分子鍵結強，不易打斷)，已經在道路行駛測試(fleet test)的甲醇重組方式燃料電池電動車，因為高溫而需要配置大型冷卻風扇，衍生令人不快的噪音問題，雖然靜肅性(如：馬達運轉等)較傳統電動汽車優越，燃料重組時大型冷卻風扇噪音問題亦不得不重視，又大型冷卻風扇亦會造成能量消耗，燃料重組方式燃料電池電動車因兼顧能源效率與噪音問題，事實上、較Toyota 的Prius 的複合動力能源效率相異不大，看不出燃料電池電動車的優勢，更何況燃料重組時並非百分之百的零污染，仍有一定量的 CO_2 排出！以甲醇重組並完成日本道路行駛測試的日本車廠認為「唯有以純氫氣作為燃料的燃料電池電動車才具有挑戰性！」甲醇與汽油重組衍生的各種問題，特別是高溫，是燃料電池電動車普及化的障礙，另外，高效率的重組器開發亦刻不容緩。

燃料電池主要生成物為純水，幾乎沒有污染。例如 11MW 磷酸燃料電池發電廠，以天然氣為燃料，其排放的氮氧化物和二氧化硫的濃度分別為 0.0639/MW 與 4.5g/MW，比現存最清潔的發電廠還乾淨 5 到 10 倍。而傳統電池在使用中雖不會產生污染，但是當電池壽命結束，其電極的處理將會造成相當嚴重的污染，因此燃料電池在整體性污染方面相對較低。

使用甲醇為燃料的車輛，其在轉換為氫燃料的過程中雖然也會產生廢氣，然而轉換過程中所產生的一氧化碳及氮氧化物大約只有汽油引擎的十分之一，故可減少大量的污染物，減輕環境的負荷。在各種燃料中，其分子的氫／碳比例愈小者，燃燒後所排放之二氧化碳的量就愈多，亦即燃燒較重的油料及煤炭，就會排放較多的二氧化碳。舉例而言，天然氣中的甲烷，氫／碳比為 4，液化石油氣的丙烷，氫／碳比為 2.67，六碳的汽油為 2.33，十六碳的柴油為 2.125，

二十噸的燃料油為 2.10。由此可見，在化石燃料中，愈輕者燃燒愈乾淨。而替代能源當中，包含了天然氣、液化石油氣、甲醇、乙醇、核能、燃料電池、氫氣等，其排放的二氧化碳都比燒汽油來得少，故能有效地減少空氣污染。

2-4.5 各種替代燃料的評價因素、評價分析及特性比較

A. 各種替代燃料的評價因素：

- (a)車輛成本(Vehicle cost)：包括從車輛規範的設定一直到送檢查機關檢驗所需一切費用。其主要因素包括生產量、生產所需人工、備件成本、車上安全防護系統設備、交貨成本以及送驗測試成本在內。
- (b)基礎設備成本(Infrastructure cost)：包括每天運轉及加油所需修改或添加設備費用。其主要因素包括工程規範設定、所需配合系統、安全系統等。
- (c)安全(Safety)：包括毒性、漏油危險性、混合性、閃火點、燃料系統對路邊的災害，可容許曝露層次。
- (d)運轉成本(Operating cost)：包括運輸所需非資本費用，其因素包括燃料裝置的熱能成本及維護成本、燃料成本、更換備品成本、車輛修理成本、保險費等。
- (e)可靠性(Reliability)：包括技術的成熟性、不定期修理頻率與其嚴重性、以及因故障所需停止運轉時間。
- (f)顧客接受性(Customer acceptance)：顧客對安全性的觀點、環境因素、外觀、舒適性、噪音等。
- (g)基金協助(Funding assistance)：對購置車輛、設備修改，燃料成本等，所需非傳統來源的財源可應用性。
- (h)訓練成本(Training cost)：包括生產力耗損、機工的訓練時數(包括修護人員、加油人員及作業人員)。
- (i)燃料可用性(Fuel availability)：由採購到交貨所需時間、生產能力及儲存能力。
- (j)燃料品質(Fuel quality)：一致性的規範。
- (k)燃料價格穩定性(Fuel price stability)：影響燃料價格的市場因素。

B.各種替代燃料的評價分析

(a)壓縮天然氣(CNG)

1.車輛成本：CNG 車的車輛成本甚高，至少比基本的柴油公車約高 20%。其主要提高成本原因為：

- (1)燃料槽費用甚高，每輛車所需槽數亦多。
- (2)運轉能力低，須採用專用氣體引擎，以致成本高。
- (3)由於結構複雜性而製造成本高。
- (4)車上所需甲烷(Methane)檢測系統投資高。
- (5)車上所需防火設備投資高。
- (6)責任成本甚高。
- (7)運輸成本高。

2.基礎設備成本：包括現場加氣設備及修改維護新添備品等。

- (1)快速加氣的壓縮系統，約需 2~4 百萬美元/站。
- (2)為車內儲存須裝通風系統。
- (3)須裝設甲烷檢測系統。
- (4)所有電路裝置均必須為防爆型(Explosion-proof type)，以致成本高。

3.安全：

- (1)甲烷比空氣輕，易蓄存於車上，以致易造成爆炸災害。
- (2)分裝及儲存燃料須為高壓設備(約為 3600 p.s.i)
- (3)由於碰撞或故障時，突然釋放，較為危險。

4.運轉適用範圍：

- (1)甲烷的熱能含量較低而車上的儲存槽甚佔空間，以致作業範圍受限制。
- (2)CNG 公車比柴油公車的作業範圍少 30%。
- (3)儲存槽龐大而重，以致整體車輛較重。

5.運轉成本：

- (1)CNG 獨特的作業成本高。
- (2)快速加氣系統成本高。
- (3)加氣站維護成本高。
- (4)輪胎費較高。
- (5)煞車零件更換頻率高。
- (6)保險費高。
- (7)CNG 車輛須特殊運轉執照。
- (8)CNG 引擎需要特殊昂貴潤滑油。

6.燃料可用性：

在 NG 產量豐富的國家，各地區均可供應不必另外的運輸費用。

7.燃料品質：

(1)除了冬季以外，品質良好。

(2)在顛峰期，燃料公司改為供應丙烷或丁烷，對環境無害，但對 CNG 引擎具有負面影響，而可能引起爆炸或嚴重引擎故障。

(3)燃料品質不良時，可能直接引起引擎故障。

8.燃料價格穩定性：必須訂妥契約，以利穩定價格供應。

9.可靠性：

(1)比柴油引擎車的故障為多。

(2)點火系統比柴油車不可靠。

10.顧客接受性：它雖為環境友善的燃料，但有些客戶仍關心其安全性。

11.基金協助：燃料公司均會提供。

12.訓練成本：其技工、加氣工、操作工、安全及維修人員、主管人員均須受特殊訓練。

(b)液化天然氣(LNG)

1.車輛成本：

(1)其成本與 CNG 車類似。

(2)LNG 車的運轉作業槽只有一個，但由於須採用高壓槽，以致比柴油槽為貴。

2.基礎設備成本：

(1)除了燃料分配設備外，其費用與 CNG 車類似。

(2)由於燃料輸送係液態，不需昂貴的壓縮設備。

(3)LNG 為冷凍液體，需要特殊而昂貴的分配設施。

3.安全：

(1)類似 CNG，其蒸氣比空氣輕，易積集在車上面，引起爆炸災害。

(2)因為 LNG 為冷凍液體，而必須在-268°F儲存與分配，其蒸氣洩漏易引起危險。

(3)通常 CNG 具有異味，但 LNG 卻無味，因此必須在車上裝甲烷檢測設備，以利安全。

4.運轉適用範圍：

LNG 係以液態儲存，因此須在車上裝設適宜儲存設備，但不必多設儲存槽。

5.運轉成本：

- (1)更換昂貴分配噴嘴頻率高，以增加成本。
- (2)危險性高而保險費尤高。
- (3)更換備品費用高。
- (4)由於結構複雜性與作業不熟練，以致維修費高。
- (5)故障修理排除時間長，並且不易獲取特殊備品零件。
- (6)車內通風費用較高。

6.可靠性：

- (1)大約類似 CNG。
- (2)車上的冷凍燃料泵壽命短，而且分配泵的儀錶不甚可靠，以致有時半途燃料中斷影響作業。

7.顧客接受性：與 CNG 類似。

8.基金協助：燃料供應廠通常供有關加油設備及更換設備的財源協助。

9.訓練成本：須要特殊技工、加油工、操作工、維護人員及主管員的訓練。

10.燃料可用性：

- (1)各地區的 LNG 供應不方便。
- (2)須增設各地區冷凍設備及所需 LNG 以利方便使用。

11.燃料品質：LNG 純度最高，係為最穩定而高品質的替代燃料。

12.燃料價格穩定性：必須訂有長期契約，以利穩定價格的燃料供應。

(c) 甲醇(Methanol):

1.車輛成本：與 CNG 或 LNG 比較，甲醇燃料車輛成本甚高。其主要因素如下：

- (1)燃料槽成本高，並且車上均須多設幾個儲存槽。
- (2)特殊甲醇引擎生產量少而價格甚高。
- (3)甲醇對設備具有腐蝕性而必須採用不銹製燃料系統設備。
- (4)車輛結構複雜而且製造成本高。
- (5)車上須設防火系統。

- (6)運輸成本高。
- (7)保險費亦高。

2.基礎設備成本：

- (1)須設個別的專屬加油系統設備以及特殊儲存槽與洩漏測器。
- (2)室內儲存必須裝設加強通風設備。
- (3)在加油區須設自動防火設施。
- (4)所有加油、修護以及油料儲存區的電路有關設備必須為防爆型設施。

3.安全：在所有可用的替代燃料中，甲醇最為不安全。係由於

- (1)甲醇蒸氣比空氣重。
- (2)閃火點較低。
- (3)燃燒時其火焰係無色，不易查看予以防範。
- (4)極毒性。
- (5)若洩漏其危險性高(因可與地下水完全混合所致)。

4.運轉適用範圍：甲醇的熱量低，因此車上須多設儲存量以利連續運轉，如此增加載量限制。

5.運轉成本：

- (1)比柴油車輛的運輸成本高。
- (2)燃料費較高。
- (3)由於其設備情況，保險費亦高。
- (4)引擎及加油系統的壽命較短，而且各備品成本高。
- (5)車重較大以致輪胎成本高，並且殺車及懸架備品更換率較高。
- (6)通風系統成本高。
- (7)應受特殊作業限制規定。

6.運轉成本：

可靠性：引擎故障率比柴油引擎多兩倍以上。

7.顧客接受性：

- (1)甲醇雖係環境友善燃料，但美國 EPA 尤關心其醛排放量。
- (2)它係揮發性毒性燃料，顧客甚關心其安全。

8.基金協助：無

9.訓練成本：對技工、加油工、作業安全與維護人員及主管人員應予

以特殊訓練為宜。

10.燃料品質：無問題

11.燃料價格穩定性：與柴油類似。

(d)乙醇(Ethanol)：

- 1.各項成本均甲醇類似。
- 2.無毒性問題。
- 3.料為農業產品應無環境負面因素。
- 4.有些基金財源協助。

(e)柴油(石化柴油, Petroleum Diesel Oil):

- 1.車輛成本：由於技術甚為成熟而且製造設備能力大，以致在所有燃料中，柴油車的成本最低。
- 2.基礎設備成本：亦為最低，適於運轉作業。
- 3.安全：其缺點為有毒性，洩漏危險及燃燒性，以致尤須注意作業以免影響環境。
- 4.運轉適用範圍：它在所有可用燃料中，其運轉適用範圍最大，並且在車上燃料儲存量最少。
- 5.可靠性：由於技術成熟而且作業熟練層次高，可說最為可靠。
- 6.顧客接受性：一般認為它係不清潔燃料而且實際上對環境及公共場所均產生災害，其顧客接受性低。
- 7.基金協助：唯一的基金協助來源為引擎製造廠商，以利推銷。
- 8.訓練成本：唯一的訓練係如何控制良好排放氣狀況，而該訓練費係由廠商負擔。
- 9.燃料可用性：具有許多合格而感性的自動販賣機以提供適宜的燃料

供應，方便運轉作業。

10.燃料品質：品質良好。

11.燃料價格穩定性：價格穩定，但易受市場的政策因素所影響。

(f)生質柴油(Biodiesel):

1.車輛成本：與柴油車相同，其引擎及車輛無須任何修改，可直接使用甚為方便。

2.基礎設備成本：與柴油車相同，其加油系統通風系統均無須修改亦不需安全檢測設備。

3.安全性：比柴油車略佳，它的閃火點較高，無毒性或毒性較低。

4.運轉適用範圍：它在所有可用燃料中，其運轉適用範圍最大，並且在車上的燃料儲存量最少。

5.運轉成本：比柴油為高，尚須各項優惠鼓勵措施，政府支持，以利推廣並利於環保、住民健康、環境友善，皆大歡喜。

6.可靠性：由於技術成熟而且作業熟練層次高，可說最為可靠。

7.顧客接受性：係為環境友善燃料，可再生、可生化分解而安全。但價格較高，尚須克服。

8.基金協助：使用生質柴油對農業生產有利，可節省石油資源，減少外匯支出，同時生產生質柴油又可增君就業機會，受益良多，但仍須政府支持，諸如減稅、負稅以及其他優惠措施。

9.訓練成本：不須特殊訓練。

10.可用性：良好，但尚未設自動販賣機。

11.燃料價格穩定性：係隨農產品植物油脂(如大豆油)價格而變動。

12.燃料價格穩定性：價格穩定，但易受市場的政策因素所影響。

表 2 各種替代燃料的性質與應用比較表

各種替代燃料的性質與運用					
	CNG	LNG	LPG	甲醇	乙醇
儲存	高壓氣筒 5,000 psi	冷凍系統 (-26°F) 150psi	冷凍系統 375psi	傳統方式	傳統方式
分裝	獨特高壓加氣 系統	特殊冷凍及加 氣系統	特殊加氣系統	傳統方式	傳統方式
蒸氣回收	不需	必須	必須	必須	必須
曝露災害	嚴重物理災 害，高壓危險	嚴重物理災 害，低溫冷凍 災變，高壓危 險性	物理災害高壓 危險	高度毒性	毒性低
火災	比空氣輕比柴 油易燃	比空氣輕比柴 油易燃	比空氣重比柴 油易燃	比空氣重， 可燃性高， 看不見其火 焰尤須注意	比空氣重可 燃性
防火設備	通風及防爆型 設備	通風及防爆型 設備須另設甲 烷測試器	通風及防爆型 設備	同左	同左
車上自動 防火系統	必須	必須	必須	必須	必須
資產成本	比柴油車特別 高	比柴油車特別 高	比柴油車稍高	同左	同左
運轉成本	與柴油車類似	與柴油車類似	與柴油車類似	比柴油車特 別貴	同左

C. 目前地球上之替代能源分析

(a) 目前地球上已證實的石油蘊藏量約為 9,990 億，而每天開採量約為 6,000 萬桶，若以此速度繼續下去，則石油將於 45 年後耗盡，同時經過 20 世紀兩次石油危機，讓人們重新思考新能源及省能技術之開發，因此先進國家均積極發展替代能源。

(b) 人類利用能源，驅動機械，對文明產生巨大的影響。但伴隨而來對環境的破壞，如溫室效應及空氣、水、土地的污染，是地球上萬物共同面臨的危機。因此開發高效率而低污染的能源，是刻不容緩的事。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 80% 的能量卻以熱或摩擦力的方式流失，其廢氣造成的污染，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，不但完全無污染，也避免了傳統電池充電耗時的問題。

(c) 台灣由於地狹人稠，氣候溫和，居民生活與工作的空間相互重疊，使得機車成為最方便使用的交通工具。目前國內約有 1,000 萬輛機車，平均幾乎每兩人就擁有一部機車；機車的大量使用造成了嚴重的空氣污染，每年機車產生

33 萬噸一氧化碳和 9 萬噸碳氫化合物，分別佔全國總排放量的 12%及 8%。

(d)燃料電池在電廠的應用方面，由於電力市場逐漸走向自由化的情形下，使得離散型的小型發電機模組或是儲存式供電模組獲得了發展的空間。參考各國燃料電池技術發展近況，以日、美兩國應用最為普遍，日本電力公司已進行研究應用磷酸燃料電池作為市區內電力負載管理的重要工具；美國南加州瓦斯公司在一飯店裝設之燃料電池電廠運轉已長達二年，並利用汽電共生的技術，提供整棟大樓熱水使用。但由於目前製造成本過高，機組容量未能擴大發電，故此尚未大量推廣。

(f)在台灣 2 萬瓦以下的發電設施可免進行環境影響評估之程序。以燃料電池而言，是一種電化學反應，高溫可應用於熱電共生，噪音小，佔地小，屬套裝模組，這種特性在都會區負載中心，較能為一般居民所接受。目前在日本及美國的部分電力公司正積極推廣此種設施。在夏日尖峰用電吃緊的今天，燃料電池由於具有其他發電技術所不及的優點，被公認為最適宜建造在都市的高品質電力，可提供市區發電更多元化的選擇。

(e)目前台灣主要的氫氣製造廠有台塑公司、中油公司、三福化工和聯華氣體公司，將來這些氫氣製造廠商亦可為金屬儲氫罐充氫工廠。氫氣之製造、儲存及運輸之技術皆已相當成熟，市面上已有許多工業化的標準作業方式及商業化的產品。其生產方式及成本價格如下表3所示：

表 3 生產方式及成本價格比較表

公司	生產方式	生產成本	備註
聯華	電解法	20元/立方公尺	以電解水為進料方式
三福	壓縮搖擺吸收法	10元/立方公尺	利用煉油廠或石化廠之廢氫氣為進料後，再加以純化精製而成

D. 國外使用車用乙醇燃料情況

乙醇俗稱酒精，它以玉米、小麥、薯類、糖蜜等為原料，經發酵、蒸餾而制成。將乙醇進一步脫水再加上適量汽油後形成變性燃料乙醇。所謂車用乙醇汽油，就是把變性燃料乙醇和汽油以一定比例混配形成的一種汽車燃料。這項技術在國外已十分成熟。目前國外使用車用乙醇的國家主要是美國和巴西，歐共體自 90 年代初也開始生產使用車用乙醇燃料。

推廣使用車用乙醇燃料，不但在一定程度上緩解了石油供求矛盾，同時由於擴大了玉米、小麥、薯類、糖蜜消費市場，從而刺激了農業生產增加了農民收入；另外，還有效降低了汽車尾氣中有害氣體排放，改善了環境和空氣質量，經濟效益和社會效益顯善。

E 推廣使用車用乙醇燃料的重大意義

(a)受原油價格日益高漲且產量減少的影響，原油供求矛盾日益突出。這將成為各國經濟發展的長期壓力。故要開發燃料酒精等石油替代品，採取措施以節約石油資源。燃料乙醇屬可再生資源，用它取代部分汽油，意義重大。

(b)可有效解決玉米等糧食的轉化，促進農業生產的良性循環我國是一個農產品生產和消費大國，政府高度重視農業問題。近年來，我國農業生產連年豐收，針對目前糧食供給相對過剩、糧價下跌、農民收入增長緩慢問題，要解決糧食等農產品階段性供過於求問題。發展車用乙醇燃料，可有效解決玉米、稻米、小麥等糧食作物的轉化；形成一個長期、穩定、可控的糧食消費市場，使國家又擁有了了一個可靠的糧食調控手段，有助於增加和穩定農民收入，實現農業生產的良性循環，為農業的產業化探索一條新途徑。

(c)有利於環境的改善用乙醇替代等量汽油，可提高汽油的辛烷值，清潔汽車引擎，減少機油替換，降低汽車尾氣有害物質的排放。作為增氧劑，燃料乙醇還可替代 MTBE、ETBE，避免對地下水造成污染。

F 我國推廣使用車用乙醇汽油工作的總體思路、原則及工作進展

車用乙醇燃料雖然在國外已成功使用，但在我國卻是一項全新的工作，為積極而穩妥地在我國推廣使用車用乙醇汽油，針對我國的國情，我們在調查研究的基礎上提出了開展這項工作的總體思路和原則。

(a)按系統工程開展工作，建立了推廣使用車用乙醇汽油工作領導小組車用乙醇汽油的生產和使用涉及到糧食供給、乙醇生產、混配、銷售等各個環節，需要制定相應的法規、標準，培育消費市場，建立新的物流管理體系等，是一項較複雜的系統工程。為了確保車用乙醇汽油推廣使用工作的有序展開。

(b)雖然當前我國糧食出現了階段性、結構性過剩，但農業靠天吃飯的局面沒有根本改變，為避免變性燃料乙醇耗糧對糧食市場供求造成衝擊，目前變性燃料乙醇生產試點項目暫定位在以消耗陳化糧為主。今後在推廣時，變性燃料乙醇生產將考慮用商品玉米、小麥或薯類等其它糧食作原料，並納入到糧食生產、消費的正常循環之中。

(c)注重項目的經濟性我國發展變性燃料乙醇必須從經濟性出發，要使變性燃料乙醇生產企業做到既能消化原料糧成本，以確保農民的收益，又能承受住國際原油價格波動的衝擊，維持變性燃料乙醇的正常生產，要通過採用先進工藝技術，提高綜合利用水平，優化資本結構，在一定的政策扶持下，以確保車用乙醇燃料工作的良性運行。

(d)從長遠考慮，要積極進行科技研究，擴大原料和市場目前，我國成品油供應市場的柴汽比例失衡，柴油耗量約是汽油的二倍，另外，大量的農作物秸稈沒有轉化出路或不能物盡其用。目前國內乙醇年產量僅約 25000 公噸，因此，我們將積極組織有關部門加快研究和開發車用乙醇柴油和纖維素變性燃料乙醇的工業化生產。

F 台灣主要農產品年度生產量

表 4 台灣主要農產品年度生產量表

台灣主要農產品年度生產量(公噸)						
種類年度	88	89	90	91	92	93
稻米	1916305	1906057	1723895	1803187	1648275	1433611
糙米	1558584	1540122	1396274	1460760	1338287	1164580
飼料玉米	88994	72672	59223	60230	53134	45631
食用玉米	112201	105643	106772	128685	114775	98666
甘藷	218584	197837	188716	191448	199880	175421
落花生	67157	79127	56087	77455	73462	98302

2-4.6 Greet 變數分析

運用 Greet 改變氫氣相關參數，包括生產、製造、運輸及貯存等方面，比較各參數對整體排污之影響，作為未來相關製造業者之參考，結果如下：

表 5-改變 NG 到加氫站輸送距離對排污之影響(WTP)

Well-to-Pump Energy Consumption and Emissions
(Btu or grams per mmBtu of Fuel Available at Fuel Station Pumps)
改變NG到加氫站輸送距離之變化

	(100M)	(200M)	(300M)	(400M)	(500M)	說明
Total Energy	1,869,910	1,886,467	1,886,467	1,877,551	1,880,099	先遞增至300M時後遞減
WTP Efficiency	34.8%	34.6%	34.6%	34.8%	34.7%	先遞減至300M時後遞增至400M時後遞減
Fossil Fuels	1,689,329	1,705,721	1,705,721	1,696,895	1,699,417	先遞增至300M時後遞減至400M時後遞增
Petroleum	36,583	36,629	36,629	36,604	36,611	先遞增至300M時後遞減至400M時後遞增
CO2	196,710	197,219	197,219	196,945	197,023	先遞增至300M時後遞減至400M時後遞增
CH4	164,775	273,823	273,823	215,105	231,881	先遞增至300M時後遞減至400M時後遞增
N2O	2,265	2,281	2,281	2,272	2,275	先遞增至300M時後遞減至400M時後遞增
GHGs	200,873	203,676	203,676	202,167	202,598	先遞增至300M時後遞減至400M時後遞增
VOC: Total	9.613	10.196	10.196	9.882	9.972	先遞增至300M時後遞減至400M時後遞增
CO: Total	35.393	36.813	36.813	36.048	36.267	先遞增至300M時後遞減至400M時後遞增
NOx: Total	123,296	127,020	127,020	125,015	125,587	先遞增至300M時後遞減至400M時後遞增
PM10: Total	16,266	16,356	16,356	16,308	16,321	先遞增至300M時後遞減至400M時後遞增
SOx: Total	182,471	182,641	182,641	182,550	182,576	先遞增至300M時後遞減至400M時後遞增

表 6-改變氫氣每日損失比率對排污之影響(WTP)

Long-Term Technologies, Passenger Cars: Well-to-Pump Energy Consumption and Emissions
(Btu or grams per mmBtu of Fuel Available at Fuel Station Pumps)
改變氫氣每日損失比較表

	0.30%	0.60%	0.90%	1.20%	說明
Total Energy	1,886,467	1,892,278	1,898,196	1,904,225	呈現遞增趨勢
WTP Efficiency	34.6%	34.6%	34.5%	34.4%	呈現遞減趨勢
Fossil Fuels	1,705,721	1,711,450	1,717,284	1,723,228	呈現遞增趨勢
Petroleum	36,629	36,692	36,755	36,820	呈現遞增趨勢
CO2	197,219	198,132	199,063	200,010	呈現遞增趨勢
CH4	273,823	275,069	276,339	277,632	呈現遞增趨勢
N2O	2,281	2,285	2,289	2,294	呈現遞增趨勢
GHGs	203,676	204,617	205,575	206,552	呈現遞增趨勢
VOC: Total	10.196	10.216	10.237	10.258	呈現遞增趨勢
CO: Total	36.813	36.990	37.170	37.353	呈現遞增趨勢
NOx: Total	127,020	127,235	127,453	127,676	呈現遞增趨勢
PM10: Total	16,356	16,375	16,394	16,414	呈現遞增趨勢
SOx: Total	182,641	182,751	182,863	182,977	呈現遞增趨勢

表 7-改變氫氣液化效率對排污之影響(WTP)

Long-Term Technologies, Passenger Cars: Well-to-Pump Energy Consumption and Emissions
(Btu or grams per mmBtu of Fuel Available at Fuel Station Pumps)

改變氫氣液化效率之影響

	40.00%	50.00%	60.00%	70.00%	說明
Total Energy	2,181,100	1,632,686	1,267,077	1,005,927	呈遞減趨勢
WTP Efficiency	31.4%	38.0%	44.1%	49.9%	呈遞增趨勢
Fossil Fuels	-862,857	-862,857	-862,857	-862,857	無明顯變化
Petroleum	-23,783	-23,783	-23,783	-23,783	無明顯變化
CO2	0	0	0	0	無明顯變化
CH4	0.000	0.000	0.000	0.000	無明顯變化
N2O	0.000	0.000	0.000	0.000	無明顯變化
GHGs	0	0	0	0	無明顯變化
VOC: Total	0.000	0.000	0.000	0.000	無明顯變化
CO: Total	0.000	0.000	0.000	0.000	無明顯變化
NOx: Total	0.000	0.000	0.000	0.000	無明顯變化
PM10: Total	0.000	0.000	0.000	0.000	無明顯變化
SOx: Total	0.000	0.000	0.000	0.000	無明顯變化

表 8-改變一般工廠能源效率對排污之影響(WTP)

Long-Term Technologies, Passenger Cars: Well-to-Pump Energy Consumption and Emissions
(Btu or grams per mmBtu of Fuel Available at Fuel Station Pumps)

變更 Central Plant Energy Efficiency: NA NG, no Steam

	60%	70%	80%	90%	說明
Total Energy	996,776	711,345	553,117	405,231	呈遞減趨勢
WTP Efficiency	50.1%	58.4%	64.4%	71.2%	呈遞增趨勢
Fossil Fuels	965,827	680,668	522,590	374,845	呈遞減趨勢
Petroleum	17,595	16,598	16,045	15,529	呈遞減趨勢
CO2	122,701	106,262	97,150	88,633	呈遞減趨勢
CH4	167.984	162.735	159.825	157.106	呈遞減趨勢
N2O	0.735	0.680	0.649	0.621	呈遞減趨勢
GHGs	126,456	109,891	100,707	92,125	呈遞減趨勢
VOC: Total	2.790	2.641	2.559	2.482	呈遞減趨勢
CO: Total	22.752	20.619	19.437	18.333	呈遞減趨勢
NOx: Total	50.771	49.578	48.917	48.299	呈遞減趨勢
PM10: Total	4.054	3.857	3.748	3.646	呈遞減趨勢
SOx: Total	33.153	32.847	32.677	32.519	呈遞增趨勢

表 9-改變一般工廠能源效率對排污之影響(WTW)

Well-to-Wheel Energy Consumption and Emissions (per Mile)

變更 Central Plant Energy Efficiency: NA NG, no Steam

FCV: GH2, Central Plant, NA NG

	Btu/mile or grams/mile				說明
	60%	70%	80%	90%	
Total Energy	3,477	2,980	2,704	2,447	呈遞減趨勢
Fossil Fuels	3,423	2,927	2,651	2,394	呈遞減趨勢
Petroleum	31	29	28	27	呈遞減趨勢
CO2	214	185	169	154	呈遞減趨勢
CH4	0.293	0.283	0.278	0.274	呈遞減趨勢
N2O	0.001	0.001	0.001	0.001	無明顯變化
GHGs	220	191	175	160	呈遞減趨勢
VOC: Total	0.005	0.005	0.004	0.004	呈遞減趨勢
CO: Total	0.04	0.036	0.034	0.032	呈遞減趨勢
NOx: Total	0.088	0.086	0.085	0.084	呈遞減趨勢
PM10: Total	0.028	0.028	0.028	0.027	呈遞減趨勢

表 10-改變氫氣壓縮效率對排污之影響(WTP)(使用 NG 壓縮機)

Well-to-Pump Energy Consumption and Emissions

(Btu or grams per mmBtu of Fuel Available at Fuel Station Pumps)

變更 Compression Efficiency at Refueling Stations for H2 from Central Plants: NG Compressors

	80%	85%	90%	95%	說明
Total Energy	711,345	711,345	711,345	711,345	無明顯變化
WTP Efficiency	58.4%	58.4%	58.4%	58.4%	無明顯變化
Fossil Fuels	680,668	680,668	680,668	680,668	無明顯變化
Petroleum	16,598	16,598	16,598	16,598	無明顯變化
CO2	106,262	106,262	106,262	106,262	無明顯變化
CH4	162,735	162,735	162,735	162,735	無明顯變化
N2O	0.680	0.680	0.680	0.680	無明顯變化
GHGs	109,891	109,891	109,891	109,891	無明顯變化
VOC: Total	2.641	2.641	2.641	2.641	無明顯變化
CO: Total	20.619	20.619	20.619	20.619	無明顯變化
NOx: Total	49.578	49.578	49.578	49.578	無明顯變化
PM10: Total	3.857	3.857	3.857	3.857	無明顯變化
SOx: Total	32.847	32.847	32.847	32.847	無明顯變化

表 11-改變氫氣壓縮效率對排污之影響(WTW) (使用 NG 壓縮機)

Long-Term Technologies, Passenger Cars: Well-to-Wheel Energy Consumption and Emissions (per Mile)

變更 Compression Efficiency at Refueling Stations for H2 from Central Plants: NG Compressors

FCV: GH2, Central Plant, NA NG

Item	Btu/mile or grams/mile				說明
	80%	85%	90%	95%	
Total Energy	2,980	2,980	2,980	2,980	無明顯變化
Fossil Fuels	2,927	2,927	2,927	2,927	無明顯變化
Petroleum	29	29	29	29	無明顯變化
CO2	185	185	185	185	無明顯變化
CH4	0.283	0.283	0.283	0.283	無明顯變化
N2O	0.001	0.001	0.001	0.001	無明顯變化
GHGs	191	191	191	191	無明顯變化
VOC: Total	0.005	0.005	0.005	0.005	無明顯變化
CO: Total	0.036	0.036	0.036	0.036	無明顯變化
NOx: Total	0.086	0.086	0.086	0.086	無明顯變化
PM10: Total	0.028	0.028	0.028	0.028	無明顯變化
SOx: Total	0.057	0.057	0.057	0.057	無明顯變化

表 12-改變氫氣壓縮效率對排污之影響(WTP)(電子壓縮機)

Well-to-Pump Energy Consumption and Emissions

(Btu or grams per mMBtu of Fuel Available at Fuel Station Pumps)

變更Compression Efficiency at Refueling Stations for H2 from Central Plants: Electric Compressors

	85.00%	87.50%	90.00%	92.50%	說明
Total Energy	944,675	862,454	784,801	711,345	呈遞減趨勢
WTP Efficiency	51.4%	53.7%	56.0%	58.4%	呈遞增趨勢
Fossil Fuels	881,998	811,053	744,049	680,668	呈遞減趨勢
Petroleum	22,114	20,170	18,334	16,598	呈遞減趨勢
CO2	124,438	118,033	111,984	106,262	呈遞減趨勢
CH4	188.413	179.364	170.819	162.735	呈遞減趨勢
N2O	1.018	0.899	0.786	0.680	呈遞減趨勢
GHGs	128,710	122,079	115,815	109,891	呈遞減趨勢
VOC: Total	4.132	3.607	3.111	2.641	呈遞減趨勢
CO: Total	23.889	22.737	21.649	20.619	呈遞減趨勢
NOx: Total	68.876	62.076	55.653	49.578	呈遞減趨勢
PM10: Total	6.517	5.580	4.695	3.857	呈遞減趨勢
SOx: Total	64.636	53.434	42.855	32.847	呈遞減趨勢

表 13-改變氫氣壓縮效率對排污之影響(WTW) (電子壓縮機)

Long-Term Technologies, Passenger Cars: Well-to-Wheel Energy Consumption and Emissions (per Mile)

變更Compression Efficiency at Refueling Stations for H2 from Central Plants: Electric Compressors

FCV: GH2, Central Plant, NA NG

	Btu/mile or grams/mile				說明
	85%	87.50%	90%	92.50%	
Total Energy	3,386	3,243	3,108	2,980	呈遞減趨勢
Fossil Fuels	3,277	3,154	3,037	2,927	呈遞減趨勢
Petroleum	39	35	32	29	呈遞減趨勢
CO2	217	206	195	185	呈遞減趨勢
CH4	0.328	0.312	0.297	0.283	呈遞減趨勢
N2O	0.002	0.002	0.001	0.001	呈遞減趨勢
GHGs	224	213	202	191	呈遞減趨勢
VOC: Total	0.007	0.006	0.005	0.005	呈遞減趨勢
CO: Total	0.042	0.04	0.038	0.036	呈遞減趨勢
NOx: Total	0.12	0.108	0.097	0.086	呈遞減趨勢
PM10: Total	0.032	0.031	0.029	0.028	呈遞減趨勢
SOx: Total	0.113	0.093	0.075	0.057	呈遞減趨勢

表 14-改變電解產生效率對排污之影響(WTP)(加氫站)

Long-Term Technologies, Passenger Cars: Well-to-Pump Energy Consumption and Emissions
(Btu or grams per mMBtu of Fuel Available at Fuel Station Pumps)
變更Electrolysis Production Efficiency: Refueling Station

	60%	70%	80%	90%	說明
Total Energy	880,974	622,175	428,076	277,110	呈遞減趨勢
WTP Efficiency	53.2%	61.6%	70.0%	78.3%	呈遞增趨勢
Fossil Fuels	-862,857	-862,857	-862,857	-862,857	無明顯變化
Petroleum	-23,783	-23,783	-23,783	-23,783	無明顯變化
CO2	0	0	0	0	無明顯變化
CH4	0.000	0.000	0.000	0.000	無明顯變化
N2O	0.000	0.000	0.000	0.000	無明顯變化
GHGs	0	0	0	0	無明顯變化
VOC: Total	0.000	0.000	0.000	0.000	無明顯變化
CO: Total	0.000	0.000	0.000	0.000	無明顯變化
NOx: Total	0.000	0.000	0.000	0.000	無明顯變化
PM10: Total	0.000	0.000	0.000	0.000	無明顯變化
SOx: Total	0.000	0.000	0.000	0.000	無明顯變化

表 15-改變電解產生效率對排污之影響(WTW)(加氫站)

Well-to-Wheel Energy Consumption and Emissions (per Mile)

變更Electrolysis Production Efficiency: Refueling Station

FCV: GH2, Electrolysis

	Btu/mile or grams/mile				說明
	60%	70%	80%	90%	
					呈遞增趨勢
Total Energy	3,275	2,825	2,487	2,224	呈遞減趨勢
Fossil Fuels	0	0	0	0	無明顯變化
Petroleum	0	0	0	0	無明顯變化
CO2	0	0	0	0	無明顯變化
CH4	0.000	0.000	0.000	0.000	無明顯變化
N2O	0.000	0.000	0.000	0.000	無明顯變化
GHGs	0	0	0	0	無明顯變化
VOC: Total	0.000	0.000	0.000	0.000	無明顯變化
CO: Total	0.000	0.000	0.000	0.000	無明顯變化
NOx: Total	0.000	0.000	0.000	0.000	無明顯變化
PM10: Total	0.021	0.021	0.021	0.021	無明顯變化
SOx: Total	0.000	0.000	0.000	0.000	無明顯變化

表 16 國內外氫氣特性參數比較表

國內外氫氣特性參數比較表-使用 Greet 1.6		
INPUT 原稿	國外值(%)	國內建議值(%)
INPUT 用處定義		建議原因
Residual Oil Utility Efficiency(Current/future)	35/35	35/35
蒸餘油 公用效率(目前/未來)		國內無可考，故參考國外值
NG Utility Boiler Efficiency(Current/future)	34/35	34/35
天然氣公用鍋爐效率(目前/未來)		國內無可考，故參考國外值
NG Simple Turbine Efficiency(Current/future)	34/35	34/35
天然氣單渦輪效率(目前/未來)		國內無可考，故參考國外值
NG Combined Cycle Turbine Efficiency	55	55
天然氣組成循環渦輪效率		國內無可考/，故參考國外值
Coal Utility Boiler Efficiency	32/35.5	32/35.5
煤公用鍋爐效率(目前/未來)		國內無可考，故參考國外值
Advanced Coal Technology For Power Generation(%)	41.5	41.5
先進煉製煤礦技術效率		國內無可考，故參考國外值
Electricity Transmission and Distribution Loss(%)	8	8
電子運輸及分配造成的損失		國內無可考，故參考國外值
Central Plant Energy Efficiency:NA NG ,NO STREAM	71.5	71.5

一般工廠能源效率：非南美洲，非使用蒸汽		國內無可考，故參考國外值
Liquefaction Efficiency :NA NG, Central Plant	71	71
液化效率：非南美洲,一般工廠		國內無可考，故參考國外值
Refueling Station Production Efficiency:NA NG ,NO STREAM	67	67
加氫站氫氣生產效率：非南美洲，非使用蒸汽		國內無可考，故參考國外值
Compression Efficiency at Refueling Stations For H2 in Refueling Stations:NG Compressors	86	86
從加氫站生產之氫氣壓縮效率：天然氣壓縮機		國內無可考，故參考國外值
Compression Efficiency at Refueling Stations For H2 in Refueling Stations:Electric Compressors	94	94
從加氫站生產之氫氣壓縮效率：電子壓縮機		國內無可考，故參考國外值
Compression Efficiency at Refueling Stations For H2 From Central Plants:NG Compressors	85	85
從一般工廠生產之氫氣於加氫站之壓縮效率：天然氣壓縮機		國內無可考，故參考國外值

Compression Efficiency at Refueling Stations For H2 From Central Plants:Electric Compressors	92.5	92.5
從一般工廠生產之氫氣於加氫站之壓縮效率：電子壓縮機		國內無可考，故參考國外值
Liquefaction Efficiency :Photovoltaic, Central Plants	71	71
液化效率:光電法,一般工廠		國內無可考，故參考國外值
Electrolysis Production Efficiency: Refueling Station	71.5	75
電解產生之氫氣效率：加氫站		依聯華氣體公司
Liquefaction Efficiency:Refueling Station	66	70
氫氣液化效率：加氫站		依台塑

2-4.7 加氫站設置密度分析

一. 依都會區人口密度分析：

表 17 加氫站設置建議表-依都會區人口

地區	土地面積 (KM2)	人口數	人口密度 (人/km2)	目前加油 站總數	人口數/ 加油站	加氫站建議設置座數	
						近期	長期
台北市	271.7997	2,619,117	9636.20	88	29,762	22	44
台中市	163.4256	1,029,644	6300.38	109	9,446	18	36
高雄市	153.5927	1,511,762	9842.668	107	14,128	21	52

二. 以城鄉密度分析：

表 18 加氫站設置建議表-依城鄉密度

地區	土地面積 (KM2)	人口數	人口密度 (人/km2)	目前加油 站總數	人口數/ 加油站	加氫站建議設置座數	
						近期	長期
雲林縣	1,290.8326	734,052	568.67	117	6,273	23	45
花蓮縣	4,628.5714	374,641	80.94	66	5,676	17	28
嘉義縣	1,901.6750	556,365	292.57	100	5,563	20	40
屏東縣	2,775.6003	898,611	323.75	130	6,912	33	65
台東縣	3,515.2526	239,184	68.04	48	4,983	12	24
南投縣	41,06.4360	537,345	130.85	95	5,656	24	40

2-5 主要工作內容及重要發現與成果

2-5.1 氫氣生產方法結果比較分析(由油井到加油站)

- A. 由圖(12)及圖(13)中所示總能量及效率，每生產1百萬BTU燃料所需熱量，氫氣工廠所耗費的熱量最低，故效率最佳。核能動力工廠所耗費的能量最多，故效率最差。
- B. 以CO₂、CH₄、N₂O、GHG_S的排放量而言，由圖(14)、(15)、(16)、(17)中所示，每生產1百萬BTU燃料造成之污染量以一般工廠光電作用及氫氣工廠電解法之污染量最低(grams/mmBTU)，公用電力工廠電解法最差，以目前國際上趨向溫室氣體減量之趨勢，一般工廠光電作用及氫氣工廠電解法可為考慮之措施。
- C. 以總VOC、NO_x、PM10的排放量而言，由圖(18)、(20)、(21)中所示，以公用電力工廠電解法排放量最多，氫氣工廠電解法最少，一般工廠光電作用法有些許微量。
- D. 以總CO排放量而言，圖(19)以天然氣工廠電解法排放的量最多，氫氣工廠電解法所排放的最少。
- E. 以都市總VOC、CO、NO_x、PM10排放量而言，圖(22)、(23)、(24)、(25)天然氣工廠電解法排放量最多，氫氣工廠電解法最少。
- F. 以都市總SO_x排放量而言，圖(26)公用電力工廠電解法排放量最多，一般工廠光電作用及氫氣工廠電解法最少。
- G. 綜合上述，氫氣七種生產方法中，以氫氣工廠電解法最佳，幾乎無污染，一般工廠光電作用次之，僅微量污染。目前國內石化業設置氫氣工廠生產氫氣，就是這原因。

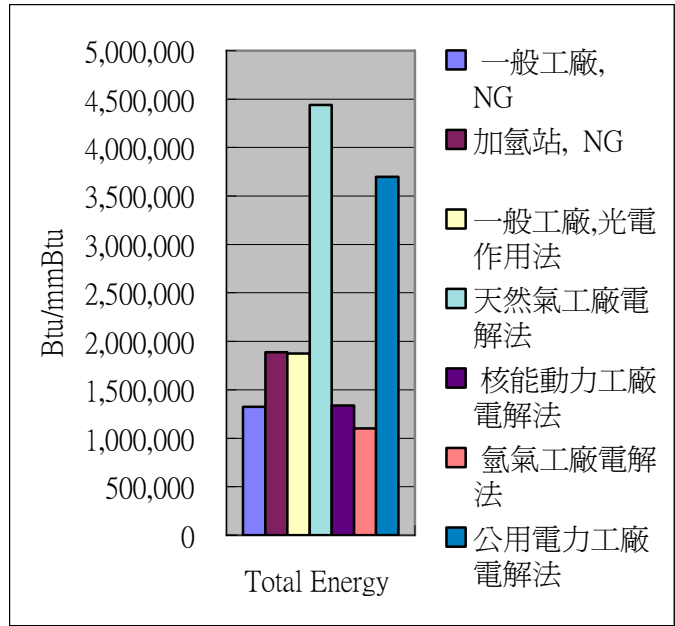


圖 12 氫氣生產方法對 Total Energy 之影響

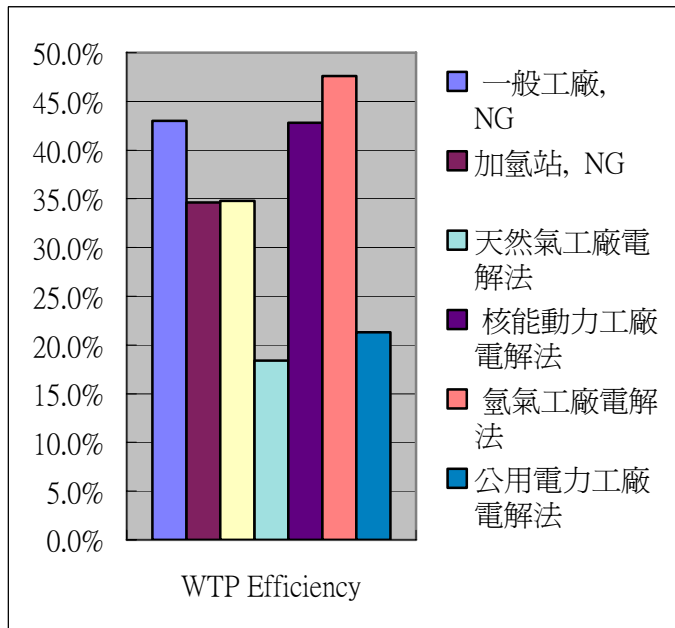


圖 13 氫氣生產方法對 WTP 效率之影響

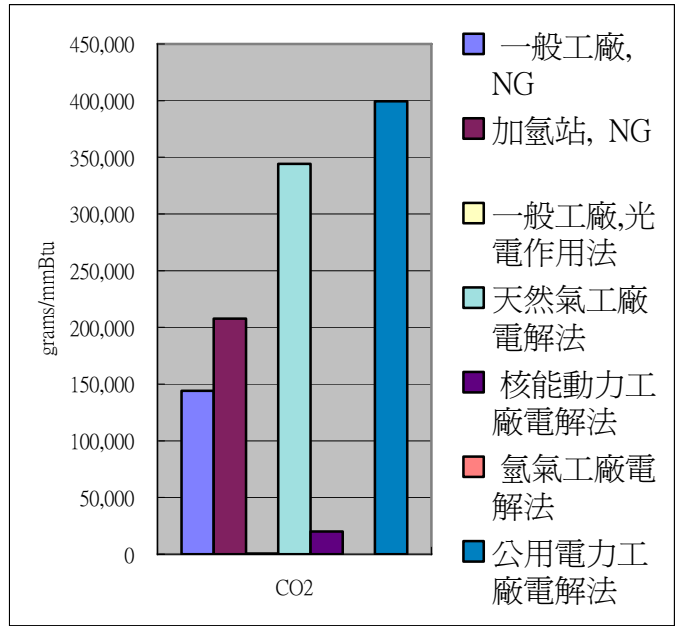


圖 14 氫氣生產方法對CO₂排放量之影響

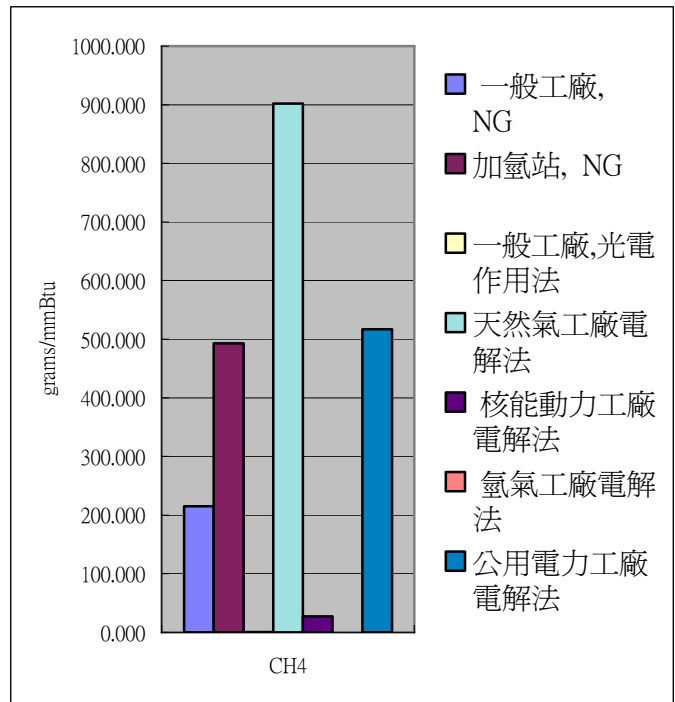


圖 15 氫氣生產方法對CH₄排放量之影響

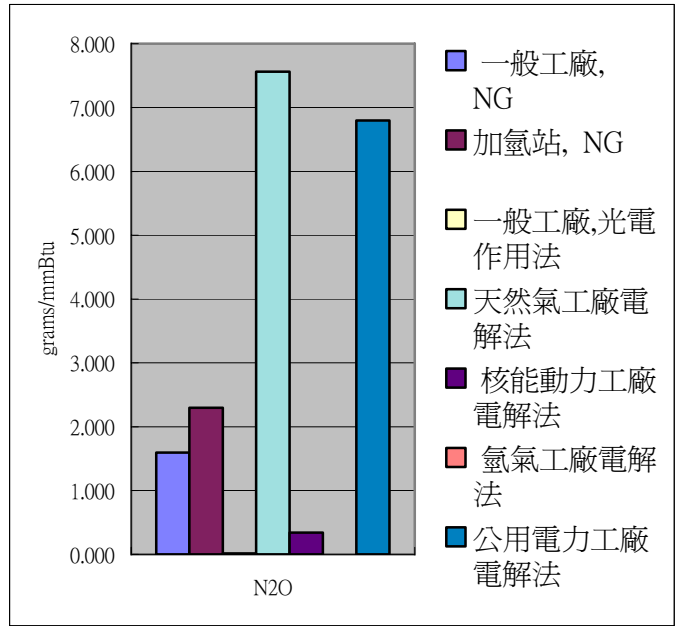


圖 16 氫氣生產方法對N₂O排放量之影響

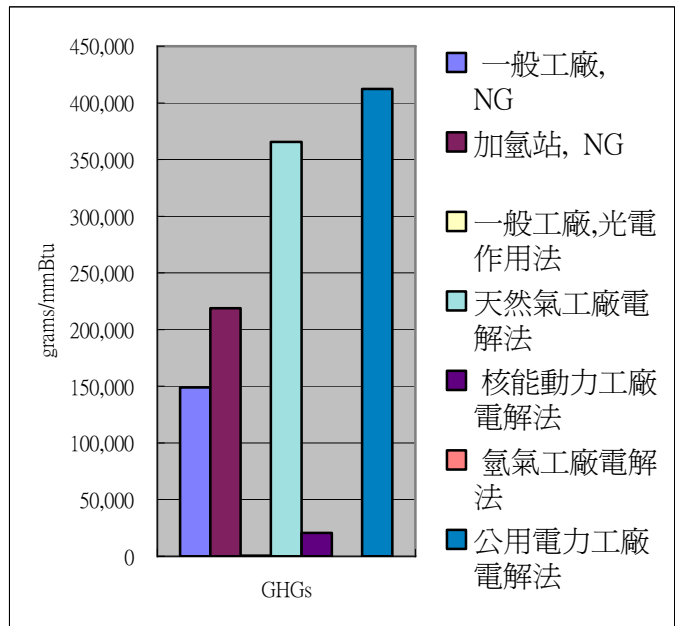


圖 17 氫氣生產方法對總GHG_s排放量之影響

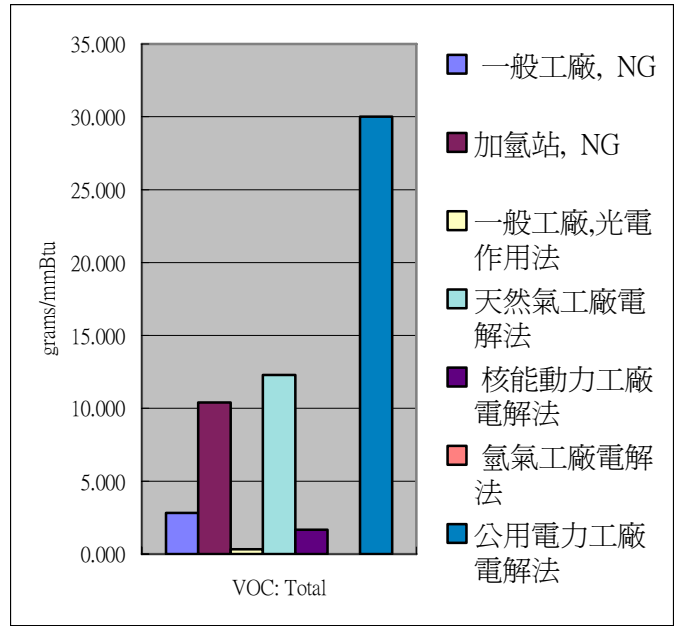


圖 18 氫氣生產方法對總 VOC 排放量之影響

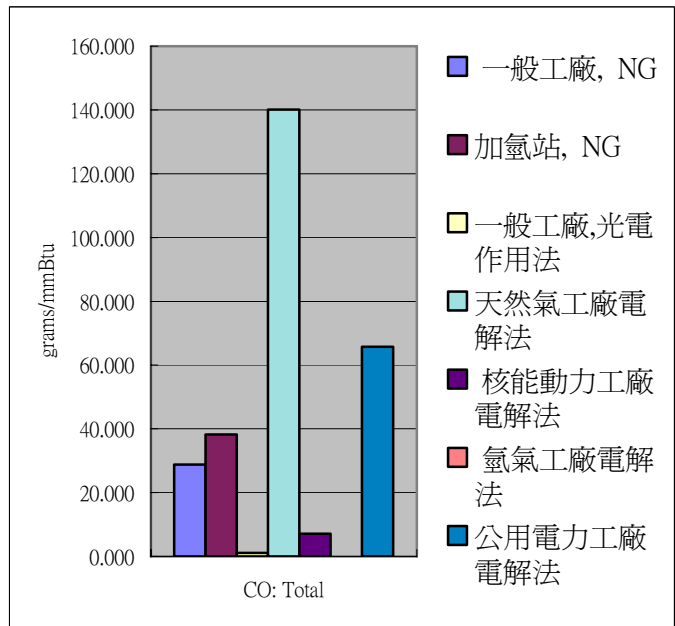


圖 19 氫氣生產方法對總 CO 排放量之影響

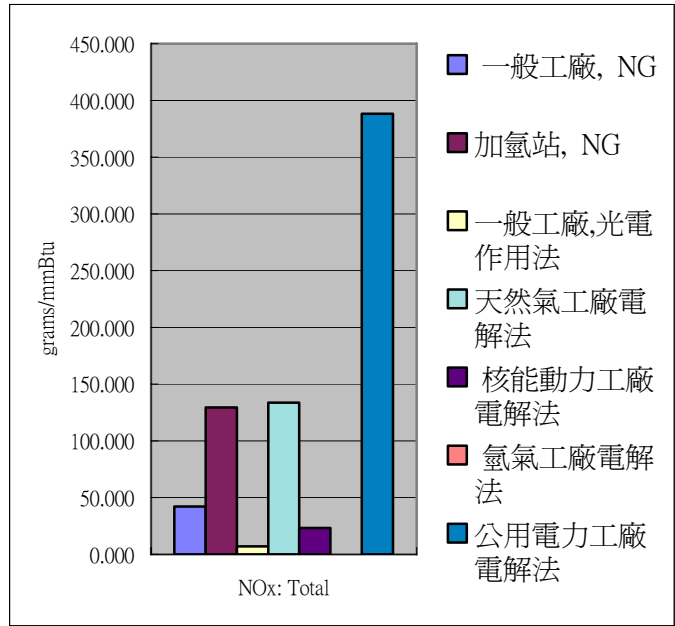


圖 20 氫氣生產方法對總NO_x排放量之影響

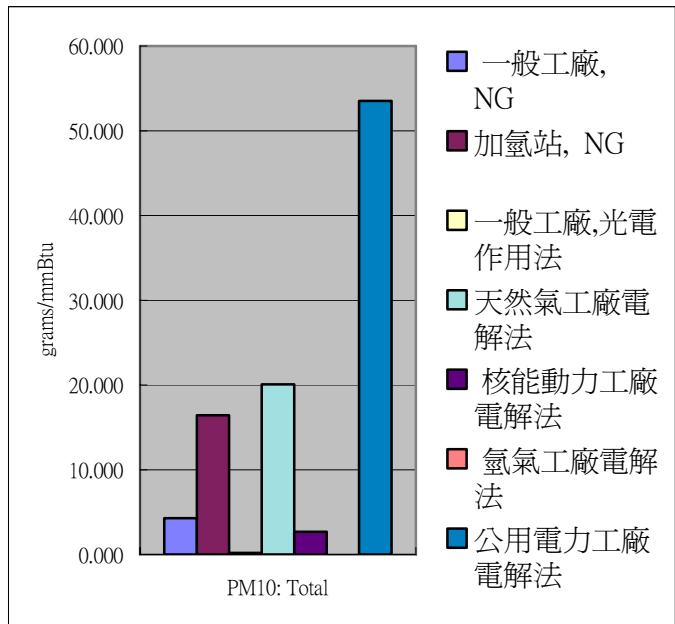


圖 21 氫氣生產方法對總 PM10 排放量之影響

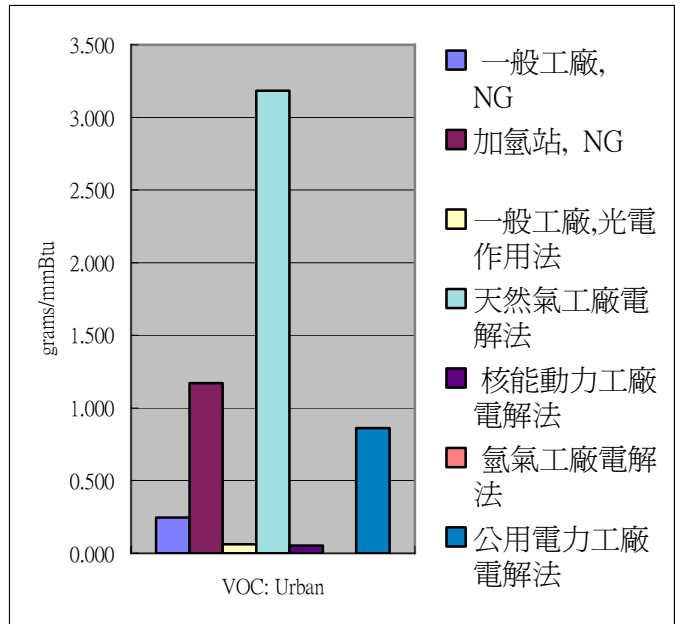


圖 22 氫氣生產方法對都市 VOC 排放量之影響

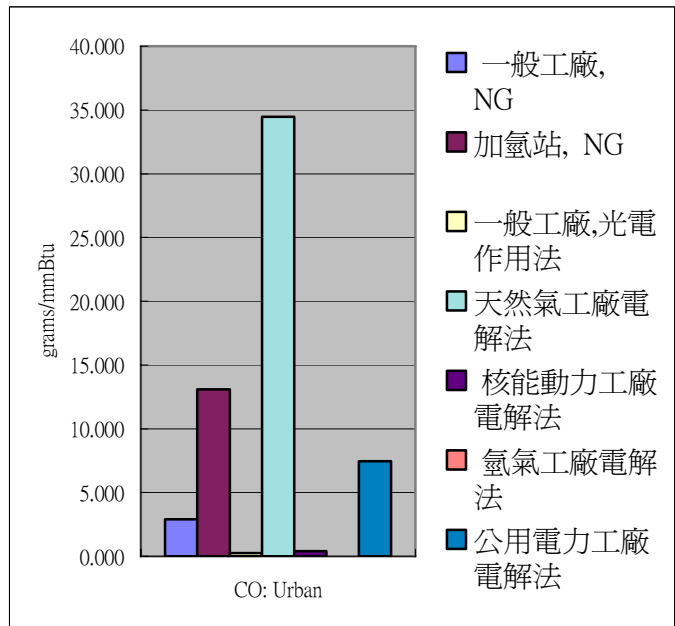


圖 23 氫氣生產方法對都市 CO 排放量之影響

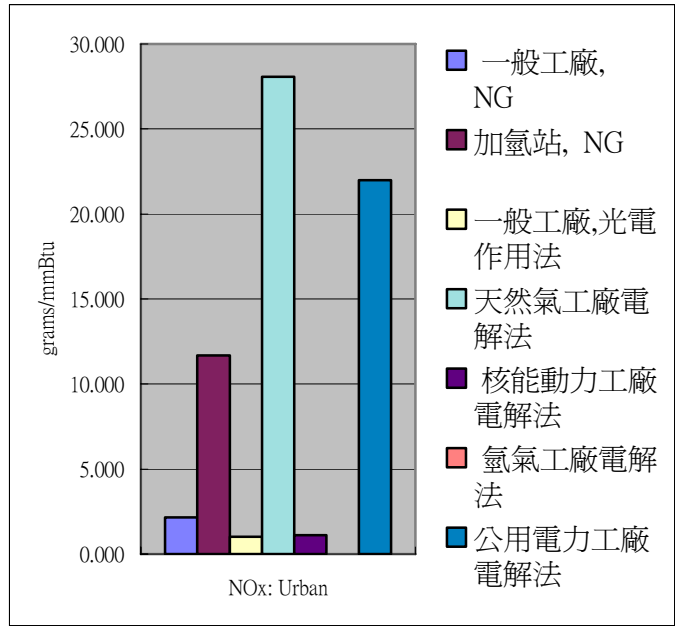


圖 24 氫氣生產方法對都市NO_x排放量之影響

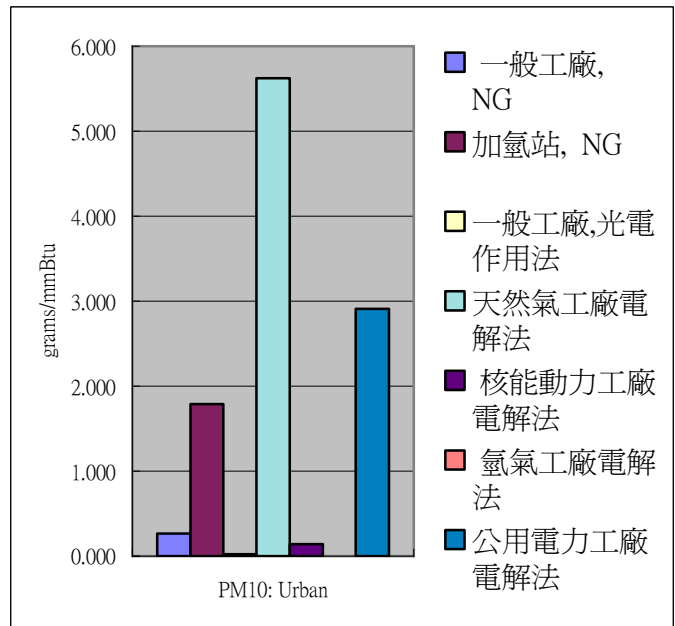


圖 25 氫氣生產方法對都市 PM10 排放量之影響

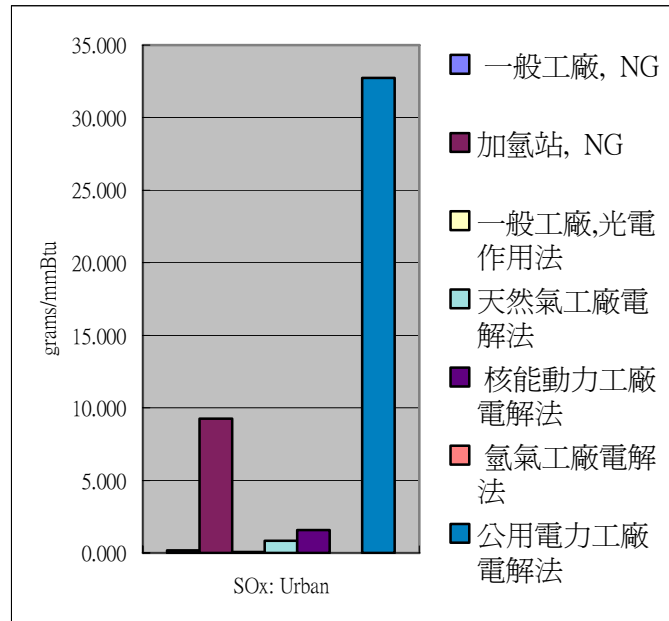


圖 26 氫氣生產方法對都市 SOX 排放量之影響

2-5.2 不同燃料使用於燃料電池之分析（從油井到加油站）

A. 由圖 (27) 及圖 (28) 中所示總能量及效率，每生產 1 百萬 BTU 燃料所需熱量，L P G 所耗費的熱量最低，故效率最佳。乙醇所耗費的能量最多，故效率最差。

B. 以CO₂、CH₄、N₂O、GHGs的排放量而言，由圖 (29)、(30)、(31)、(32) 中所示，每生產 1 百萬BTU燃料造成之污染量以一般工廠光電作用及氫氣工廠電解法之污染量最低 (grams/mmBTU)，最差，以目前國際上趨向溫室氣體減量之趨勢，一般工廠光電作用及氫氣工廠電解法可為考慮之措施。

C. 不同燃料使用於燃料電池之 WELL-TO-PUMP 分析

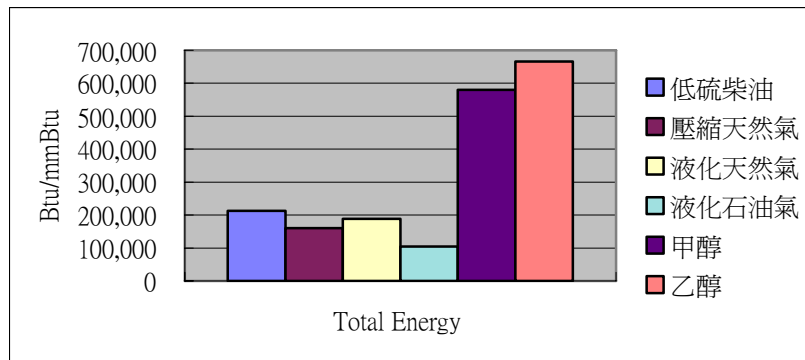


圖 27 不同燃料使用於燃料電池對 Total Energy 之影響

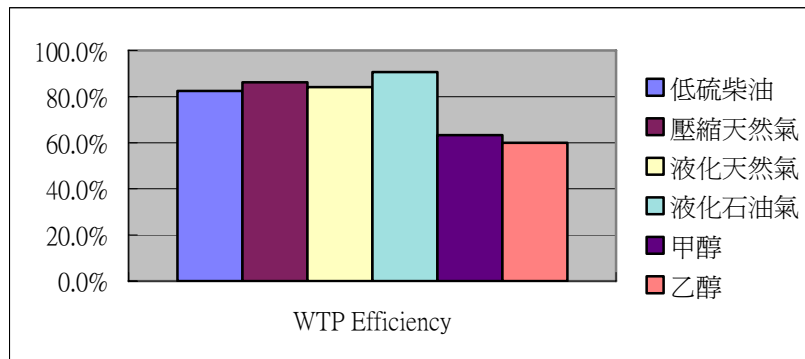


圖 28 不同燃料使用於燃料電池對 WTP 效率之影響

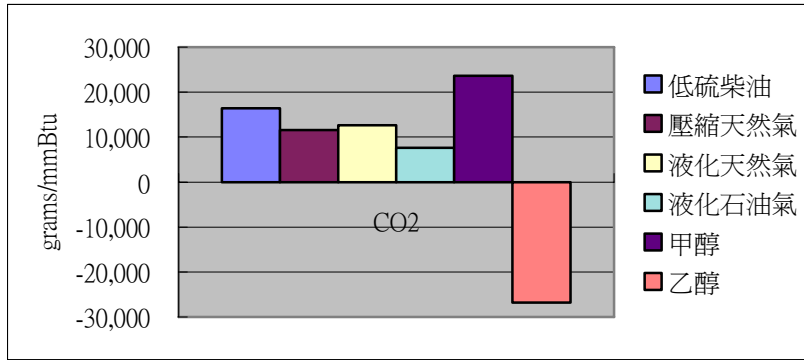


圖 29 不同燃料使用於燃料電池對CO₂排放量之影響

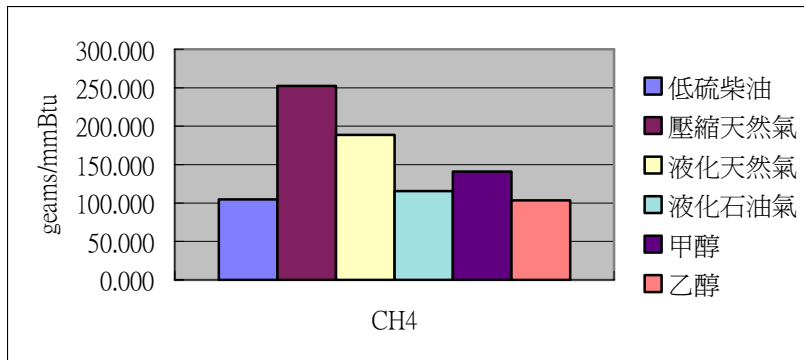


圖 30 不同燃料使用於燃料電池對CH₄排放量之影響

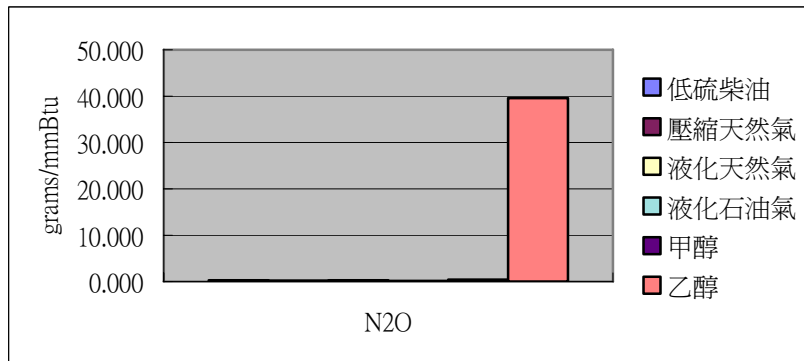


圖 31 不同燃料使用於燃料電池對N₂O排放量之影響

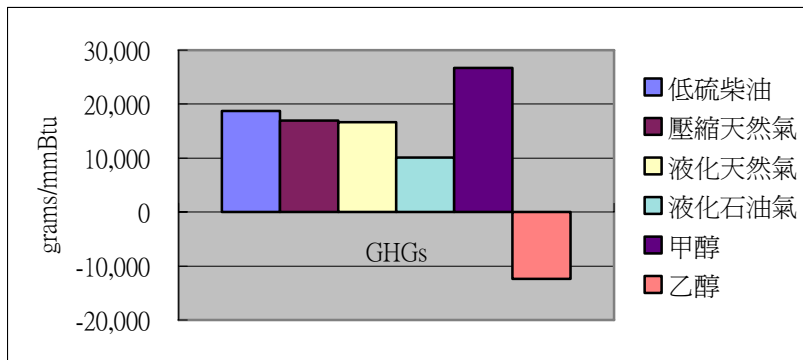


圖 32 不同燃料使用於燃料電池對GHGs排放量之影響

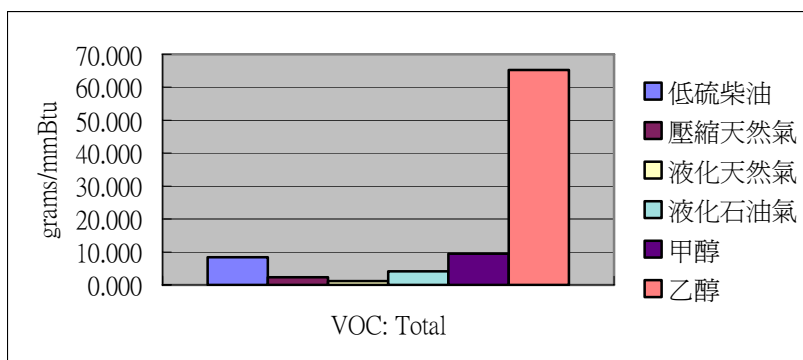


圖 33 不同燃料使用於燃料電池對總 VOC 排放量之影響

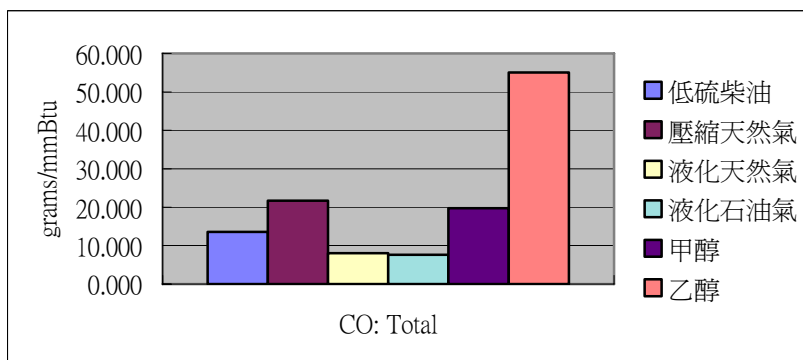


圖 34 不同燃料使用於燃料電池對總 CO 排放量之影響

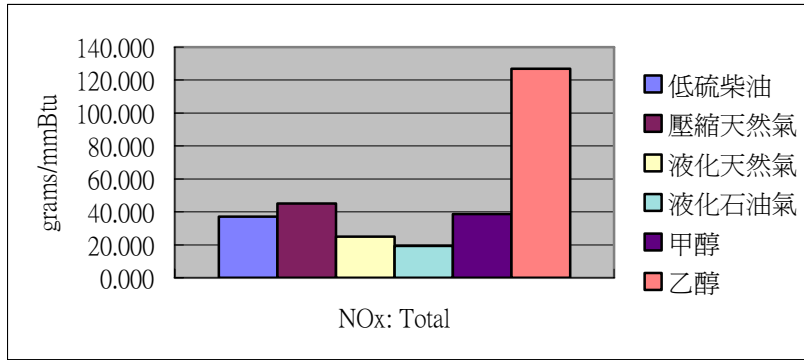


圖 35 不同燃料使用於燃料電池對總NO_x排放量之影響

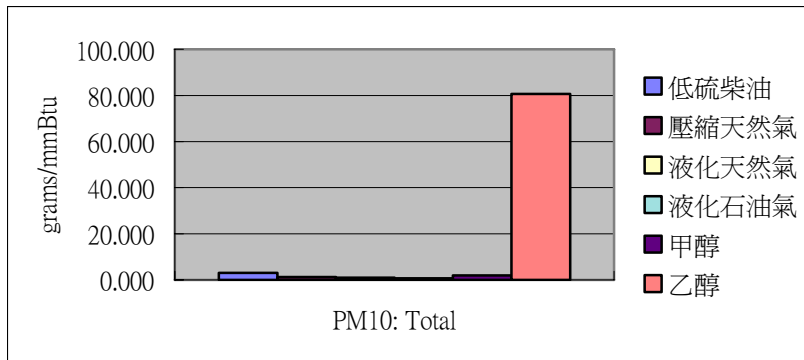


圖 36 不同燃料使用於燃料電池對總 PM10 排放量之影響

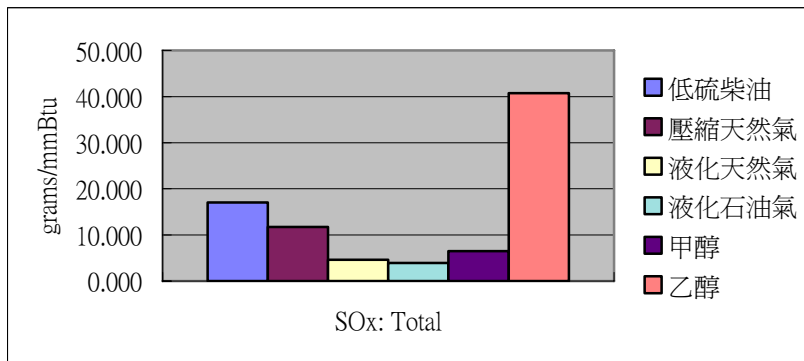


圖 37 不同燃料使用於燃料電池對總SO_x排放量之影響

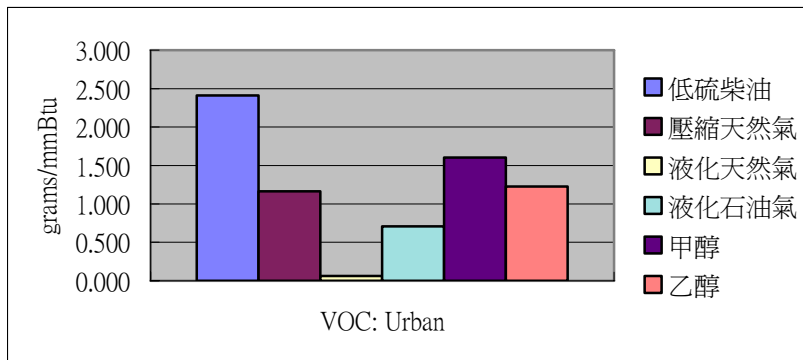


圖 38 不同燃料使用於燃料電池對都市 VOC 排放量之影響

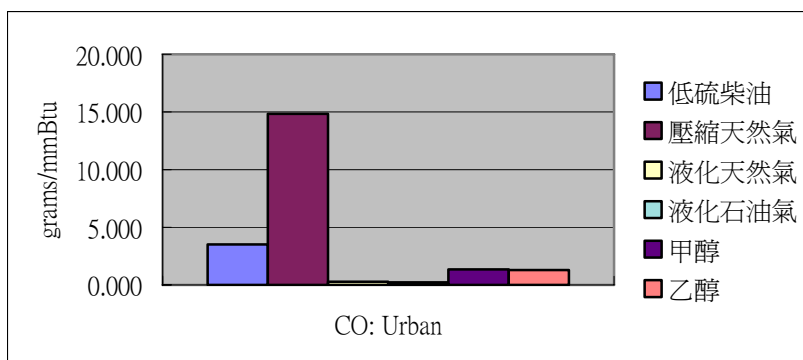


圖 39 不同燃料使用於燃料電池對都市 CO 排放量之影響

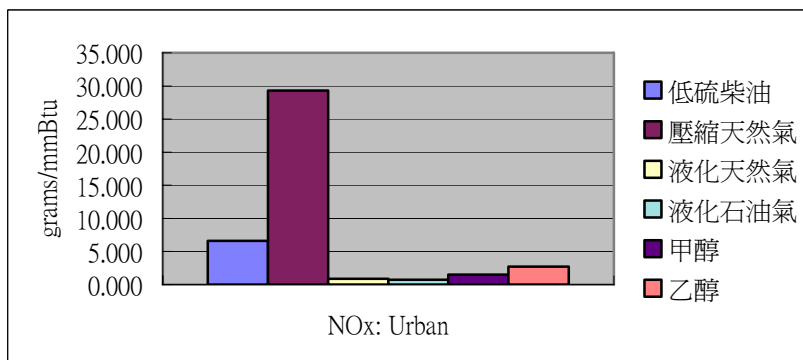


圖 40 不同燃料使用於燃料電池對都市 NO_x 排放量之影響

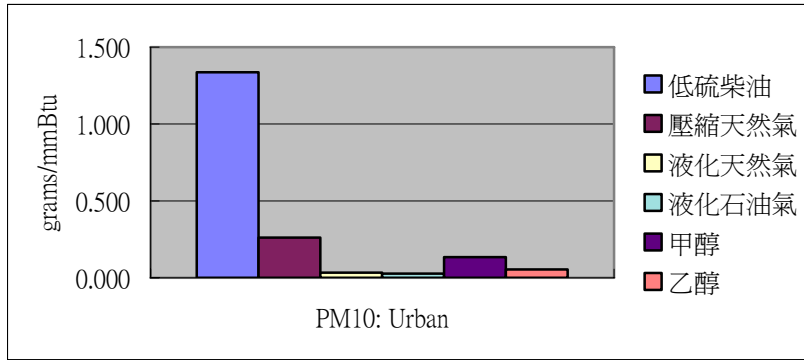


圖 41 不同燃料使用於燃料電池對都市 PM10 排放量之影響

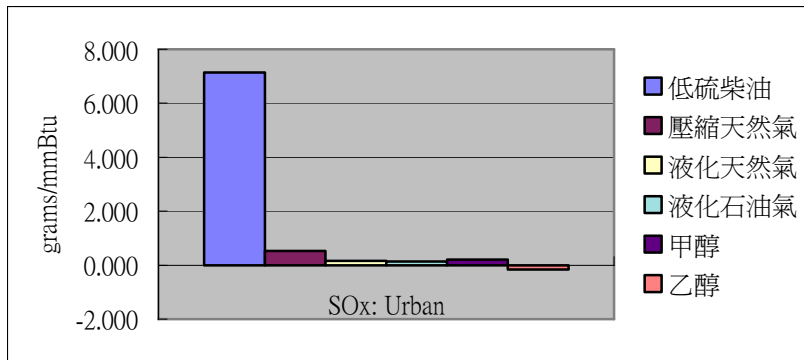


圖 42 不同燃料使用於燃料電池對都市 SO_x 排放量之影響

2-5.3 氫氣燃料電池車、柴油引擎車及汽油引擎車之耗能及排污分析比較（從油井到車輛操作）

- A. 以CO₂、CH₄、N₂O、GHG_s、VOC、CO、NO_x、PM10、SO_x的排放量而言，如圖（43）～（56）所示皆以氫氣燃料電池之排放量最多，汽油及柴油較低，因雖氫氣燃料電池車雖不產生廢氣，但氫氣生產過程中會產生廢氣。
- B. 表 18 中，針對氫氣、汽油及柴油等分析，其中雖氫氣於一般工廠生產過程中產生較多的排污，但於車輛操作時產生之排污幾乎為零，且整體從油井到車輛操作階段之總排污均比汽、柴油車少。

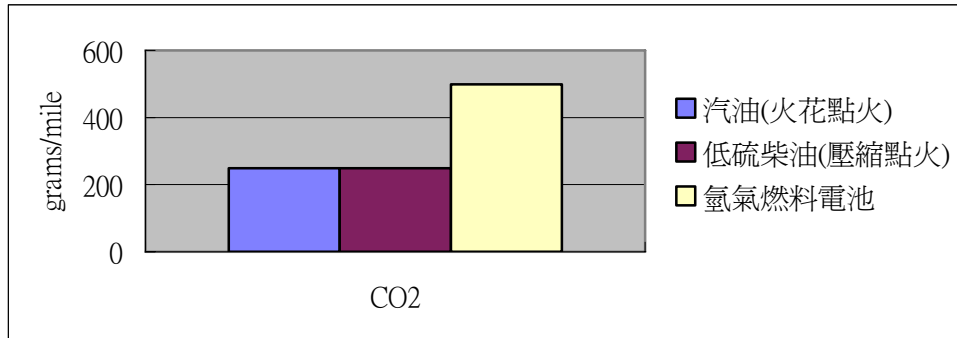


圖 43 不同車輛對CO₂之排放量之影響

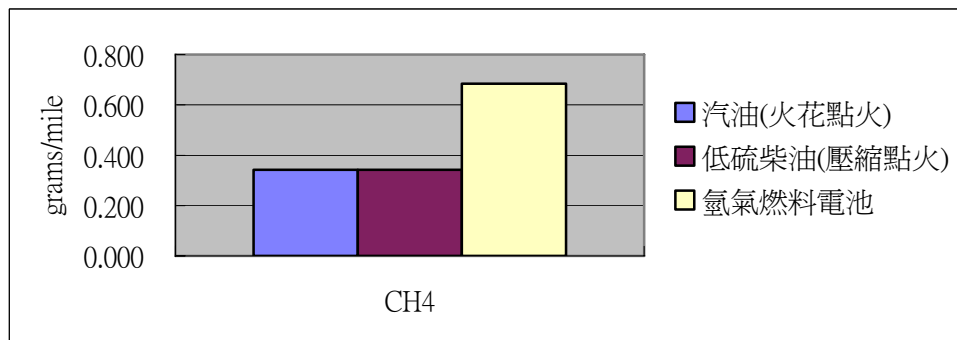


圖 44 不同車輛對CO₄之排放量之影響

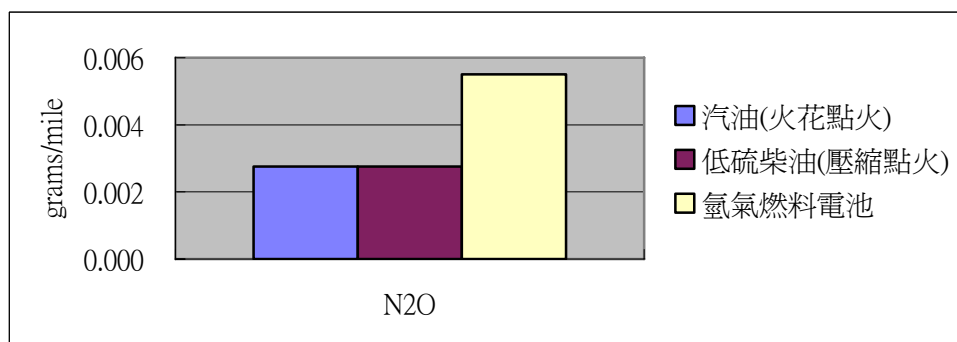


圖 45 不同車輛對N₂O之排放量之影響

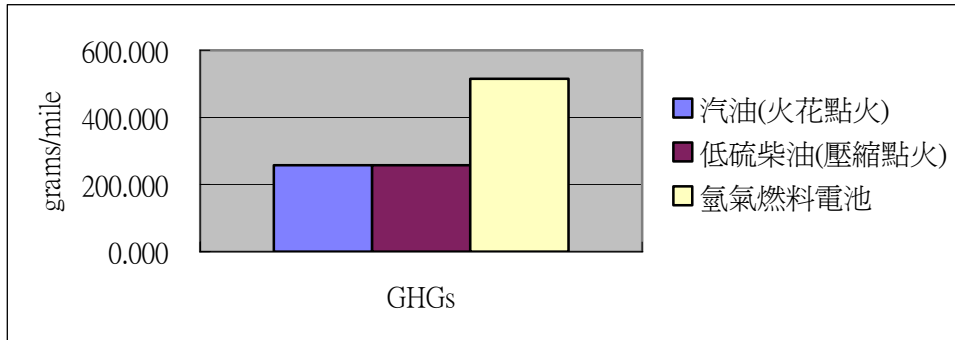


圖 46 不同車輛對GHGs之排放量之影響

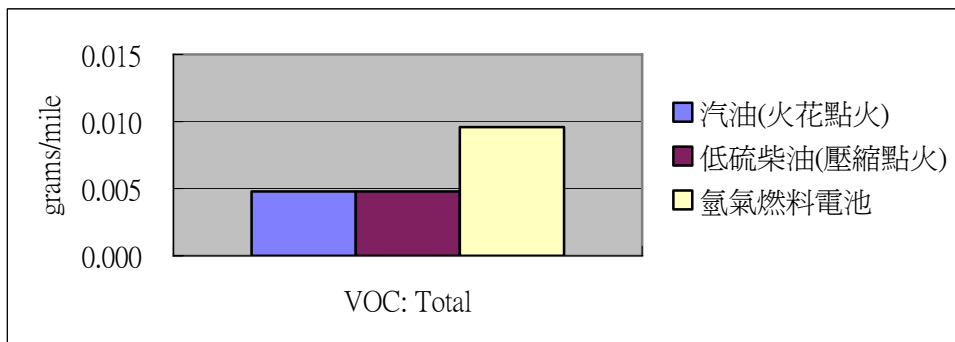


圖 47 不同車輛對 VOC 之排放量之影響

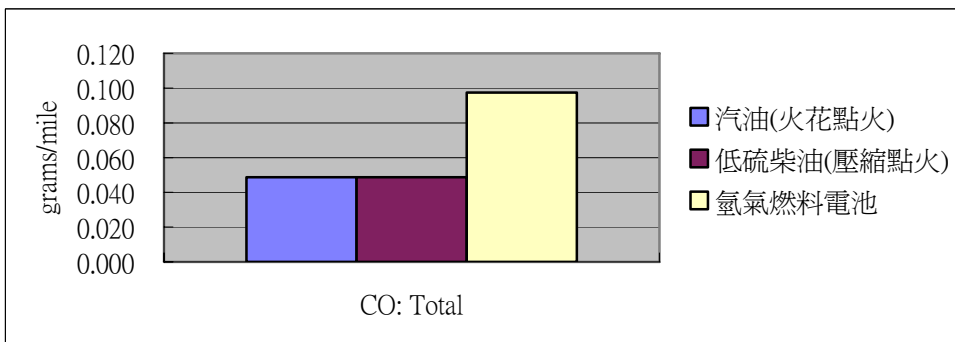


圖 48 不同車輛對 CO 總排放量之影響

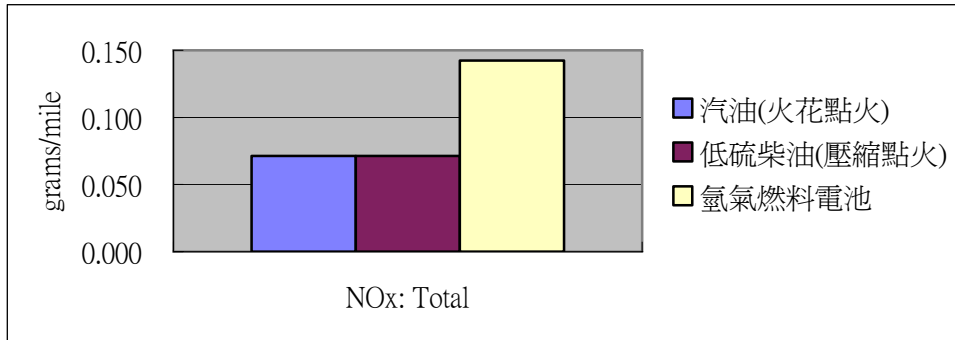


圖 49 不同車輛對NO_x之總排放量之影響

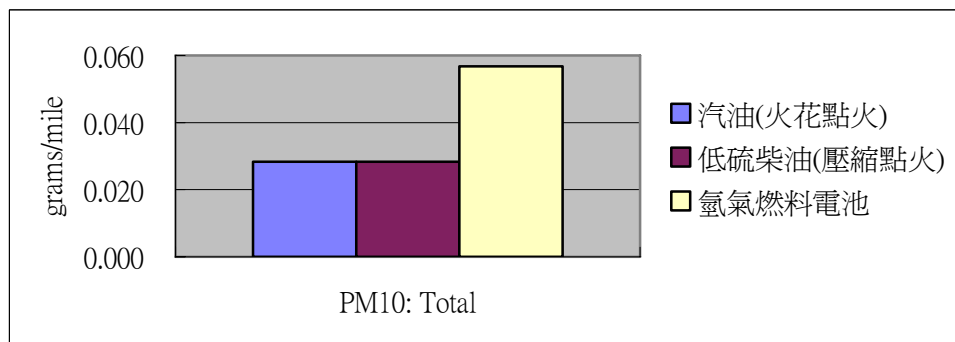


圖 50 不同車輛對 PM10 之總排放量之影響

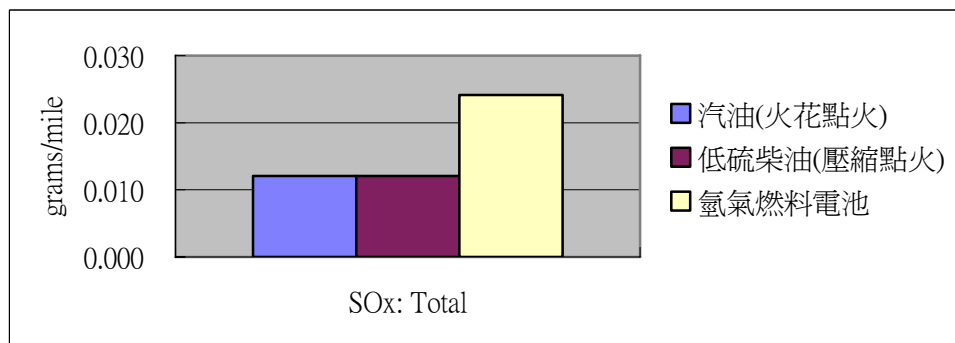


圖 51 不同車輛對SO_x之總排放量之影響

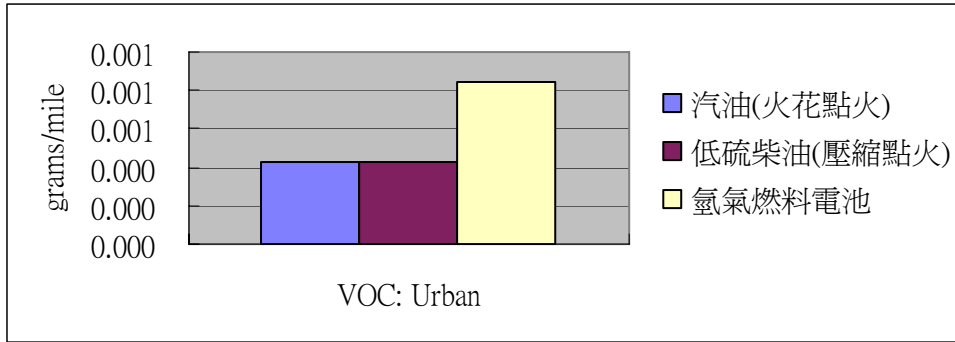


圖 52 不同車輛對都市 VOC 之排放量之影響

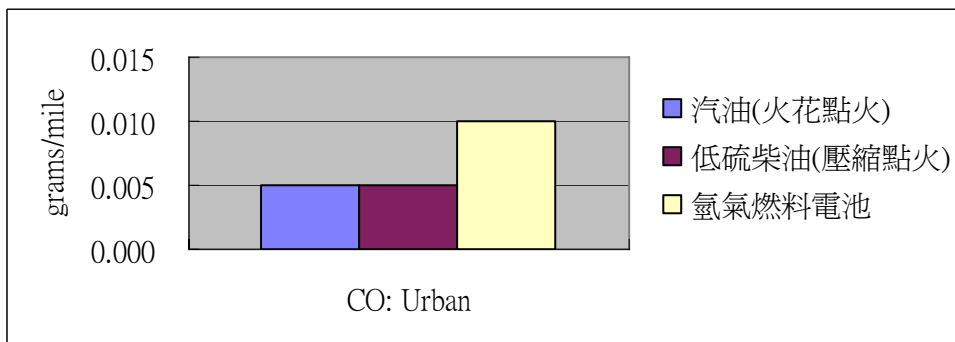


圖 53 不同車輛對都市 CO 之排放量之影響

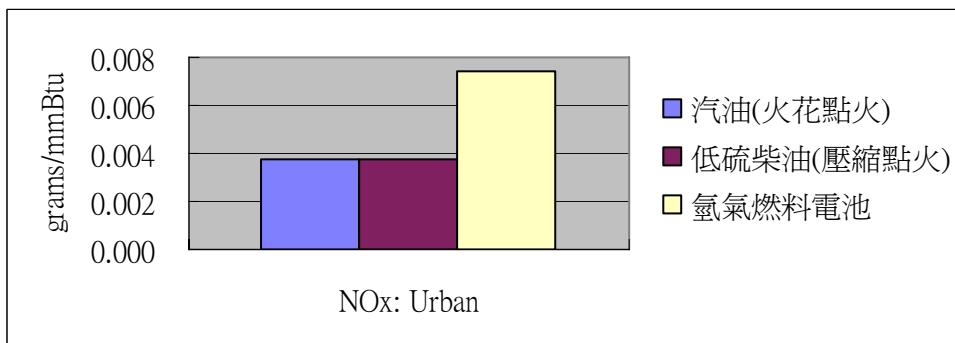


圖 54 不同車輛對都市 NO_x 之排放量之影響

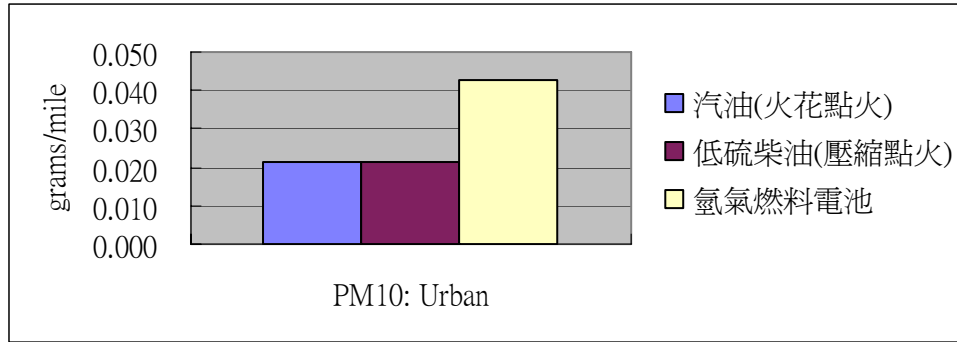


圖 55 不同車輛對都市 PM10 之排放量之影響

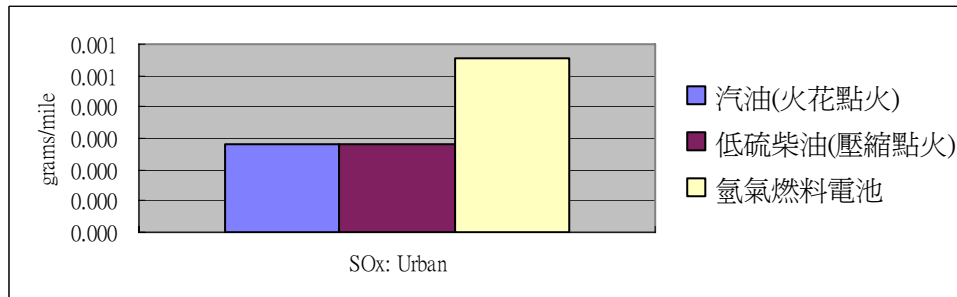


圖 56 不同車輛對都市 SO_x 之排放量之影響

表 19 氫氣/汽油/柴油排污比較表

WELL-TO-PUMP								
	CO2	CH4	N2O	GHGS	VOC	CO	NOX	PM10
氫氣	252	0.377	0.003	261	0.005	0.05	0.074	0.008
汽油	68	0.4	0.001	77	0.06	0.053	0.142	0.012
柴油	58	0.36	0.001	66	0.029	0.047	0.127	0.01
PUMP-TO-WHEEL								
	CO2	CH4	N2O	GHGS	VOC	CO	NOX	PM10
氫氣	0	0	0	0	0	0	0	0.021
汽油	278	0.065	0.028	288	0.119	2.759	0.036	0.035
柴油	277	0.011	0.016	282	0.049	2.759	0.063	0.031
WELL-TO-WHEEL								
	CO2	CH4	N2O	GHGS	VOC	CO	NOX	PM10
氫氣	252	0.377	0.003	261	0.005	0.05	0.074	0.029
汽油	346	0.465	0.029	365	0.119	2.812	0.178	0.047
柴油	335	0.371	0.017	348	0.078	2.806	0.19	0.041

2-5.4 改變柴油含硫量對耗能及排污之影響（從加油站到車輛操作）

A.以總耗能而言，如圖（57）所示，柴油含硫量 10~150ppm 所耗費的熱量相同也較低，但柴油含硫量 150 P P M以上時，則熱量升高約 23%左右。

B.以CO₂、GHG_S、VOC之排放量而言，如圖（58）（61）（62）所示，於 150ppm 以上排放量增加。CH₄及N₂O之排放量則無明顯變化，如圖（59）（60）所示。

C.以都市 VOC、NOX、PM10 及總 VOC、NOX、PM10 而言，皆於 150ppm 以上時，污染增加，如圖（62）、（64）、（65）、（67）、（69）、（70）所示。

D.以都市 CO 及總 CO 而言，如圖（63）（68）所示，於 150ppm 以上時減少，以都市SO_x及總SO_x方面，則隨著含硫量增加而增加之趨勢，如圖（66）（71）。

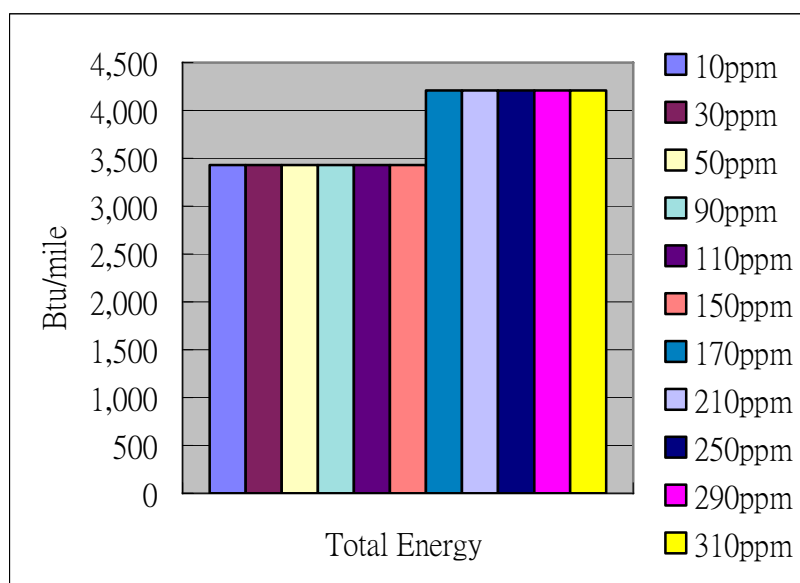


圖 57 改變柴油含硫量對 Total Energy 之影響

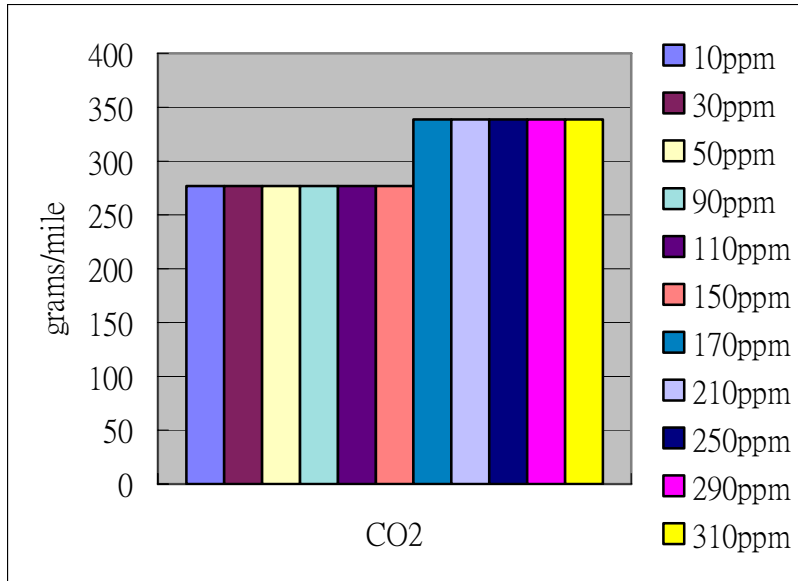


圖 58 改變柴油含硫量對CO₂排放之影響

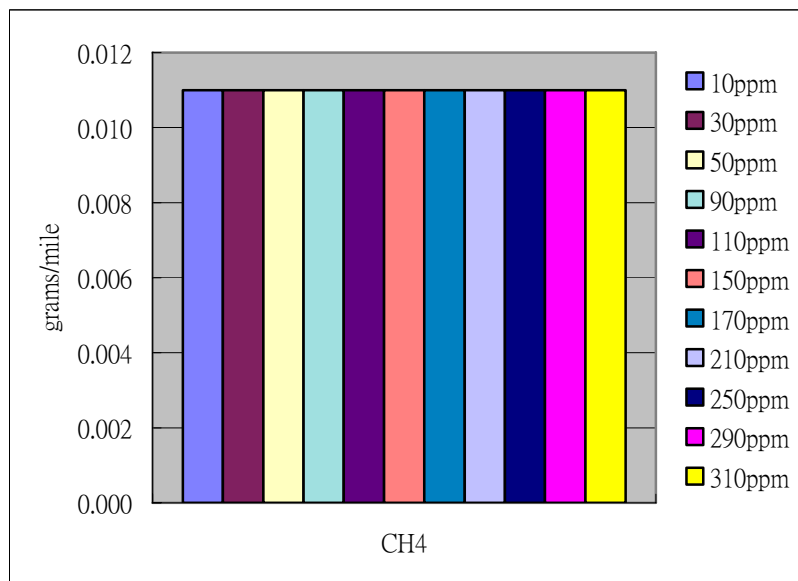


圖 59 改變柴油含硫量對CH₄排放之影響

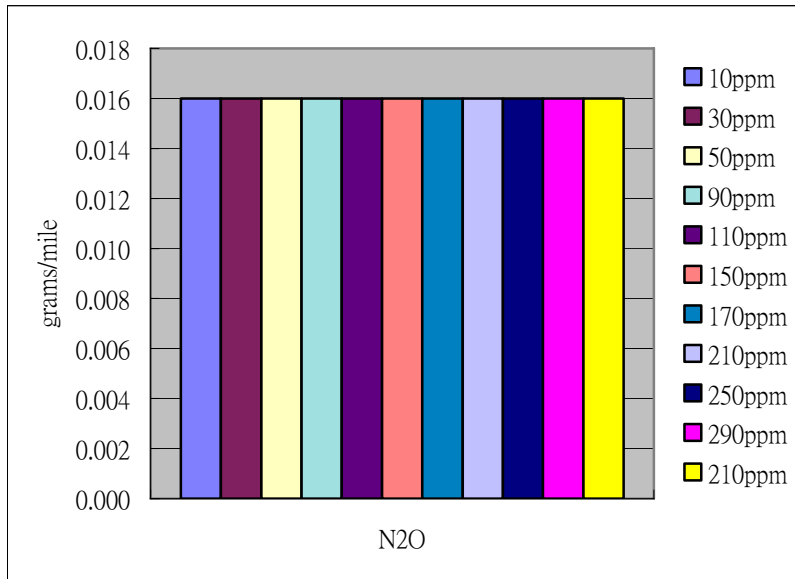


圖 60 改變柴油含硫量對 N2O 排放之影響

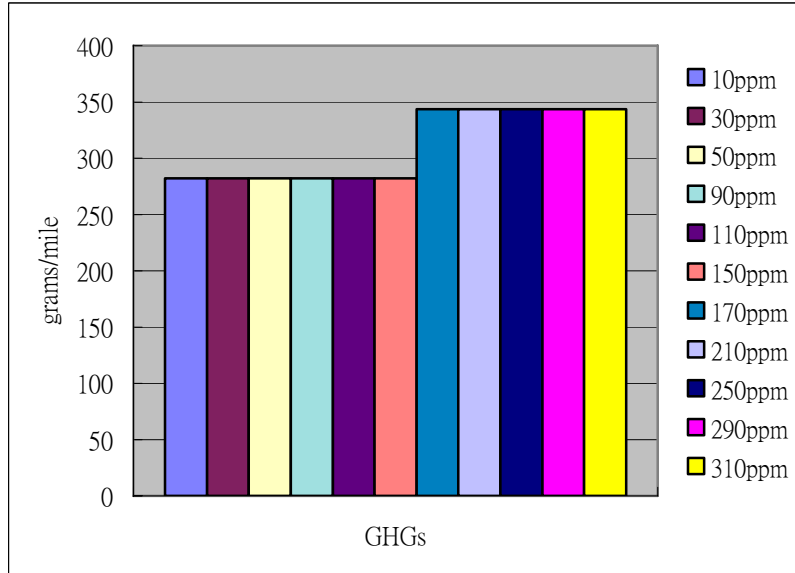


圖 61 改變柴油含硫量對GHGs排放之影響

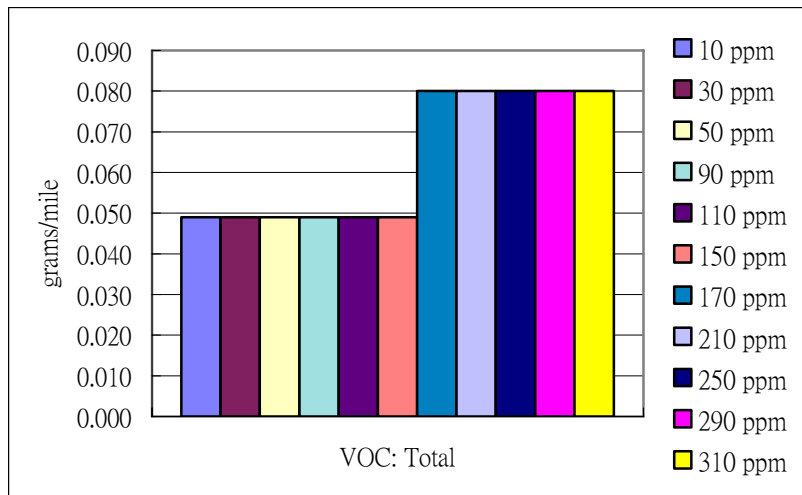


圖 62 改變柴油含硫量對總 VOC 量排放之影響

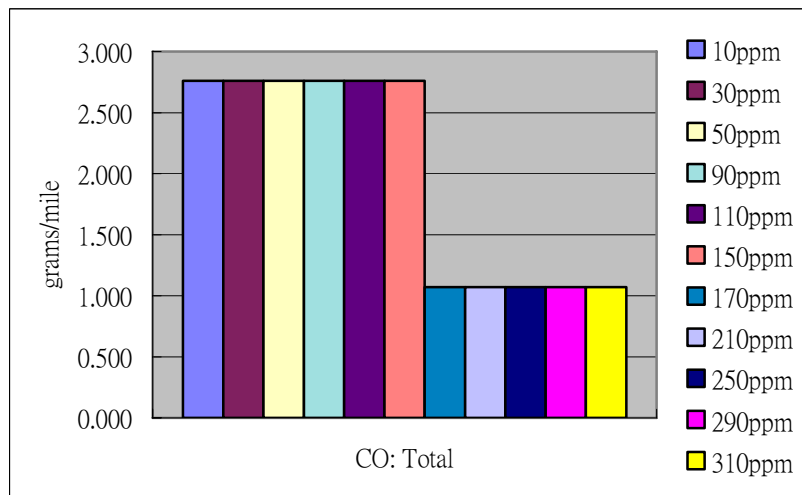


圖 63 改變柴油含硫量對總 CO 排放量之影響

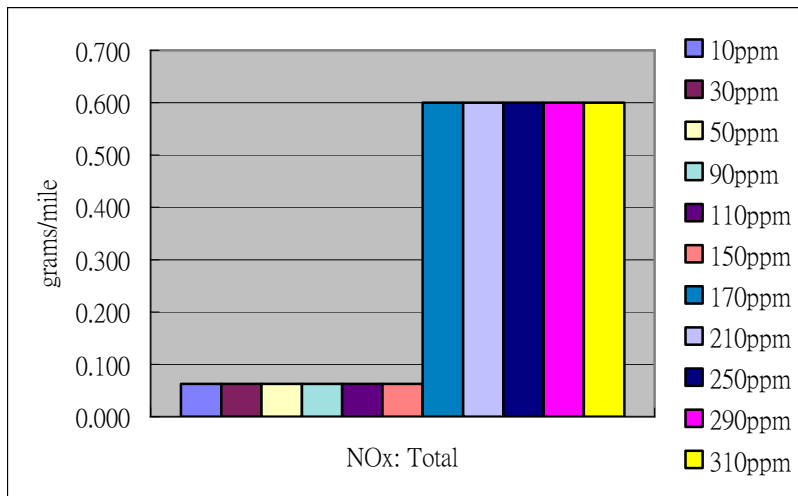


圖 64 改變柴油含硫量對總 NOx 排放量之影響

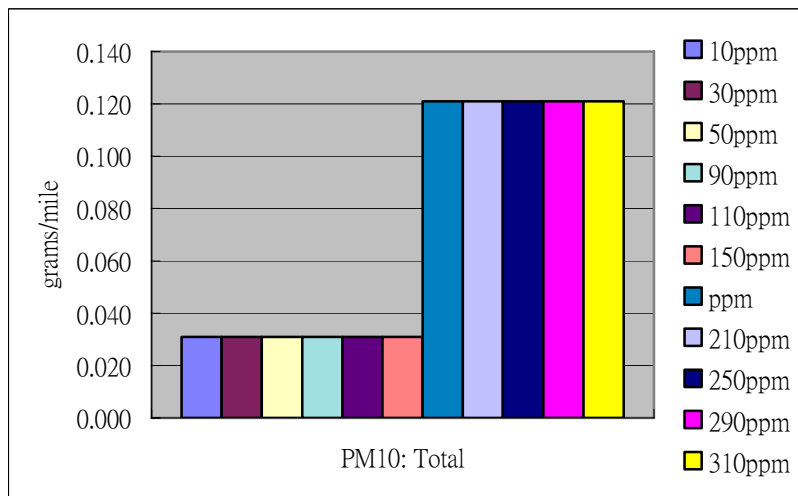


圖 65 改變柴油含硫量對總 PM10 排放量之影響

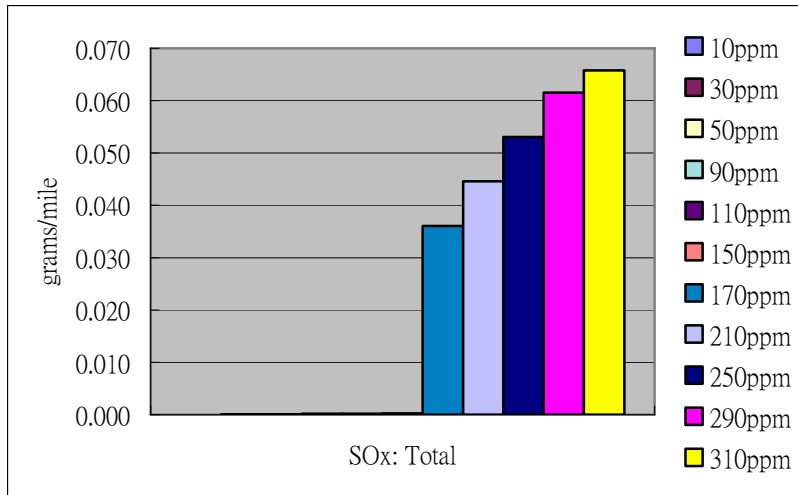


圖 66 改變柴油含硫量對總SO_x排放之影響

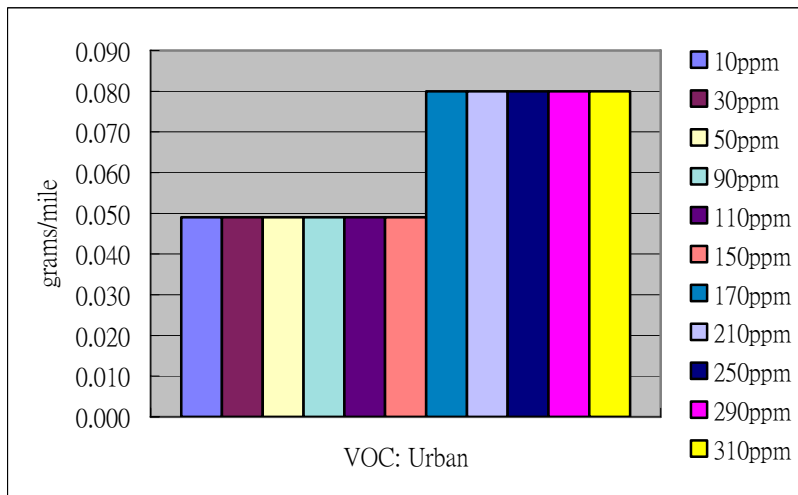


圖 67 改變柴油含硫量對都市 VOC 排放量之影響

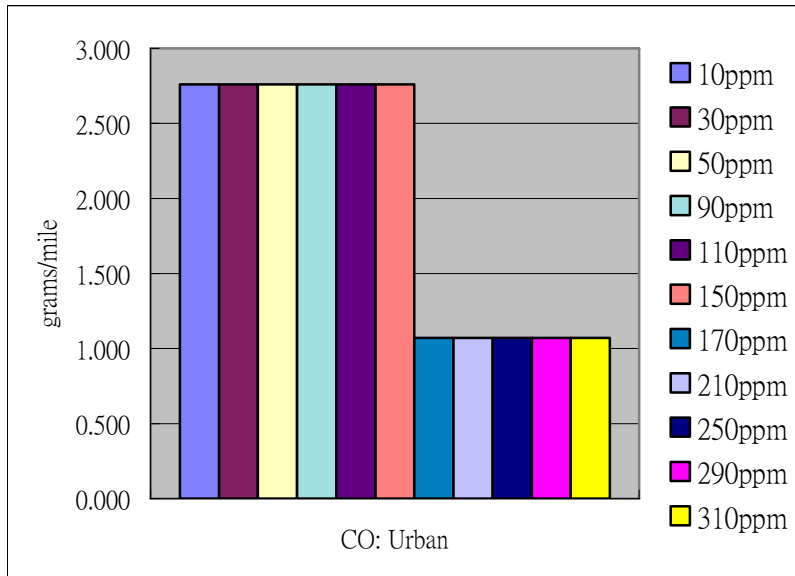


圖 68 改變柴油含硫量對都市 CO 排放量之影響

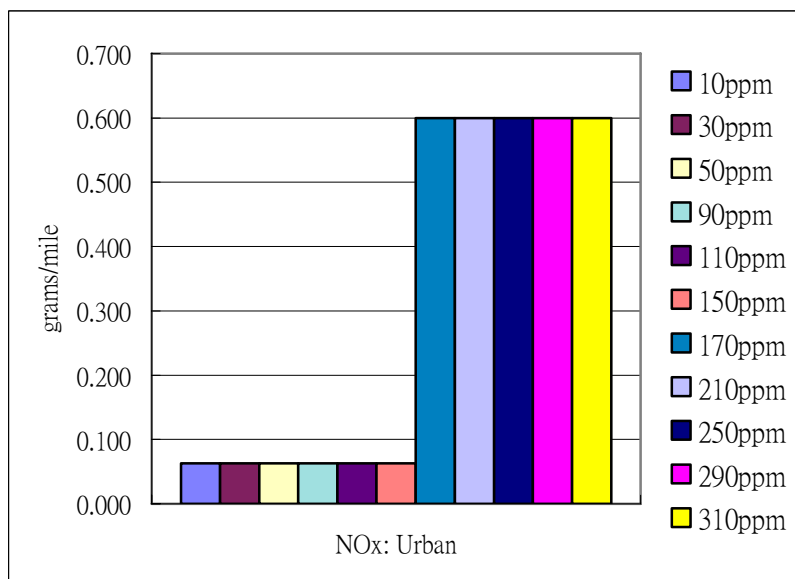


圖 69 改變柴油含硫量對都市 NO_x 排放量之影響

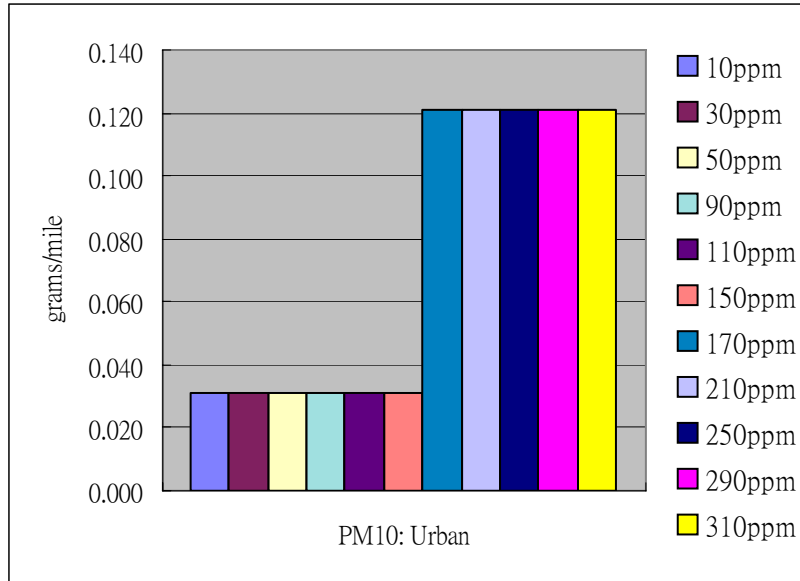


圖 70 改變柴油含硫量對都市 PM10 排放量之影響

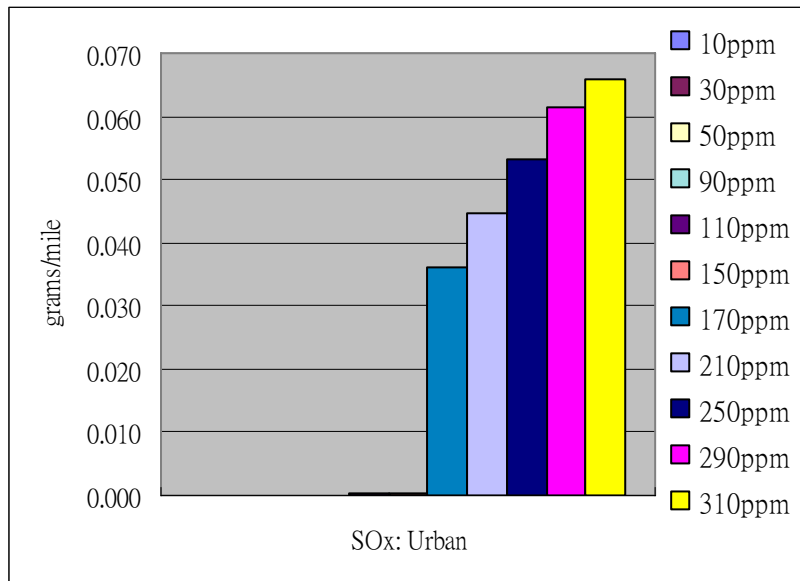


圖 71 改變柴油含硫量對都市 SOx 排放量之影響

2-5.5 現今已發展之複合式燃料電池車

複合動力車可以高功率電池或燃料電池為能量來源，以高效率馬達為動力來源，以高效率電力轉換器為驅動控制單元，隨著未來高功率電池發展，以電力電子為核心的電動車驅動控制技術，將主導未來電動車技術發展，目前先進的燃料電池與最新的混合動力電動汽車術結合在一起，包括：

表 19 各種車輛價格比較表

	價格	備註
普通汽車(2000CC 國產車)	22,000 美元	以 NISSAN TEANA 為例
電動汽車	7,000 美元	以亞太一號 EC 為例
複合式電動車	21,850 美元(不含關稅)	以 HONDA Civic 為例
複合式燃料電池車	25,300 美元(不含關稅)	以 Toyota Prius 為例

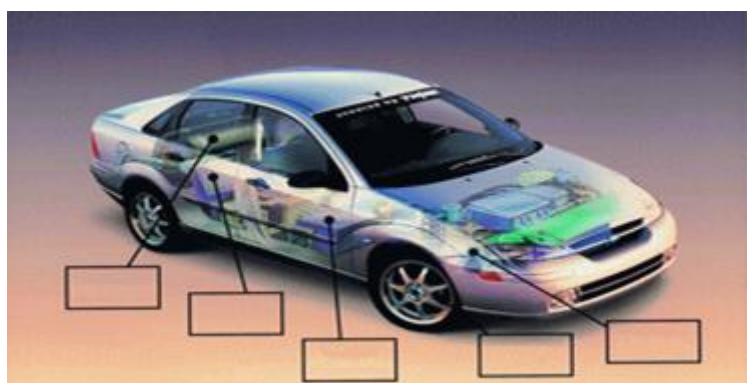


圖 73 FORD Focus FCV 綜合燃料電池與混合動力技術的汽車



圖 74 TOYOTA Prius 燃料電池與混合動力技術的汽車

2-6 主要建議意見及未來或後續執行建議

- A. 基於世界環保聲浪日益高漲，地球的能源產量受限，汽車引用替代燃料，也因能源及環保因素而浮出檯面，成為急迫待解決的問題，「新能源時代」之觀念應運而生，因此燃料電池車 (FCEV)、瓦斯車 (LPG)、天然氣車 (NGV) 等之低排放車輛，政府應提出具體政策及推廣方案，例如投入相當經費作研發或補助、制定相關之安全規範、實施優惠減稅方案以提高誘因、制定替代能源政策、普遍設立加氣站...等。
- B. 政府應該鼓勵推動太陽能、風能、海洋能等再生能源及燃料電池等新能源技術，並對這些再生能源與新能源技術給予租稅減免或補貼。
- C. 氫氣是燃料電池最為直接的燃料，也就是不需經過重組器的轉換就可使用，不但是自然界中最豐富之自然元素，而且在轉換為電能的過程中，僅產生微量的水，頗合乎國際環保要求。甲醇、汽油或天然氣，經過重組之後，仍可以取得氫氣，但是重組器大又重，在燃料電池的應用上，會增加載具之重量，進而影響其推廣或普及。再者就能源與環保的觀點而言，若以甲醇、汽油或天然氣做為燃料電池之進料，則人類對化石燃料之依賴情形將無法改變。因此，在燃料電池開發與應用的過渡期間，或許基於技術的成熟度，而有使用甲醇、汽油或天然氣為燃料之必要。但是就長期來看，仍應以氫做進料，才可降低化石燃料的使用量，以及達到零污染排放之目標。
- D. 關心環境的人希望利用汽油產氫只是一個過渡技術，更理想的是以酒精取代汽油。酒精可自植物(如玉米)製成，使用後變成水及二氧化碳，再被植物吸收，完全無污染，因此降低石油使用量及石油工業的污染。

三、參考文獻

1. 許致義、陳澤義、周鳳瑛，“溫室效應與永續發展”，俊傑書局股份有限公司，2000。
2. 蔡信行，“替代能源與再生能源”，中國石油股份有限公司，2002
3. “燃料電池論文集”，經濟部能源委員會，台灣電力公司，1999
4. “燃料電策略規劃（第一階段）”，經濟部能源委員會與財團法人工業技術研究院，2004
5. 潘家寅譯，”太陽、光與燃料電池”，趙國華，1989。
6. 黃鎮江，”燃料電池”，全華書局，2005。
7. 林昇佃，”燃料電池”，滄海書局，2004。
8. 衣寶廉，”燃料電池之原理與應用”，五南書局，2005。
9. 左峻德，”燃料電池之特性與運用”，科資中心，2001。
10. 吉澤四郎、賴耿陽，”燃料電池與電力貯存系統”，復漢書局，1994。
11. 呂鴻光，”溫室氣體之衝擊與對策-我國之影響與因應措施”，田園城市文化事業有限公司，2003。
12. Karl Kordesch, Gunter Simader ，”Fuel cells and their applications “，New York VCH ,1996。
13. Mehrdad Ehsani ... [et al.]，”Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles : fundamentals, theory, and design”，Boca Raton CRC Press，2005。