

篇名:
氫燃料電池的效率比較

作者:
李季臻。私立明道高中。高二 2 班。
吳文邵。私立明道高中。高二 2 班。
陳俊嘉。私立明道高中。高二 2 班。

指導老師:
林士弘老師

壹●前言

近年來油價不斷飆漲，不論是交通運輸的汽油、柴油，生火煮飯的瓦斯、天然氣，或是以石油當原料的火力發電，用石油所製造的各種產品，如塑膠、油墨、衣料等，價格皆不斷的攀升，這便說明了石油短缺的現象。基於人類對石化工業、交通及各種生活必需品等的依賴，雖然石油即將枯竭，我們仍然必須繼續開採石油，然而石油是一種高度污染的燃料，會產生二氧化碳、甲烷等溫室氣體，以及二氧化氮、二氧化硫等有害氣體，造成酸雨、空氣污染還有溫室效應等，且在我們大量使用之下，千年以來的遺產——石油即將用盡，這原本看似取之不盡，用之不竭的燃料，竟因為人類深不見底的慾望而一點一滴的消耗，即將見底！因此近十年來科學家不斷研發各種替代能源以預防這另全人類恐慌的能源大危機。

在我們生活週遭已出現許多替代能源如核能發電、風力發電、太陽能發電、潮汐發電、地熱發電等等，然而其中部分受到自然因素的限制，為了克服這些因素，科學家利用各種方法尋求一種不受這些條件限制的方法，最後發現氫氣能和氧氣行氧化還原反應而放出大量能量，以代替即將消耗殆盡的石油成為新世紀的新能源，這便是科學家們研發出來的「氫燃料電池」。

身為地球上的一份子，地球環境與我們息息相關，這不但是我們生存的空間，也是孕育我們的地方，因此我們將針對「氫燃料電池」這一個當紅的主題，提出研究，探討其中的原理及運作方式。

由於我們班為國科會高瞻化學實驗班，加上這一次我們的研究主題剛好為氫燃料電池，才有機會利用在化學實驗室裡的儀器研究氫燃料電池，以下我們將加以探討氫燃料電池的運作原理、種類，以及我們將實驗的結果加以討論。

貳●正文

一、燃料電池簡介

燃料電池類似伏打電池。在這兩種裝置中均使一電極釋放的電子，通過外電路流到第二個電極。但電池與燃料電池之最大相異之處在於前者的活性成分在電極內，反應過程中化學性質的活性會改變，並隨著不斷使用而逐漸耗盡。「在燃料電池中，可以從外源連續地向一個電極輸送氣體(或液體)燃料，而向另一電極供給氧或空氣。由於這一特點，燃料電池產生電能的時間週期較電池長得多。」(註一)

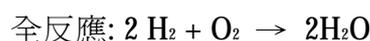
燃料電池是用汽油、酒精、天然氣、氫氣、沼氣等燃料轉換成電流。可以替代汽

車的內燃機，取代筆記型電腦的電池、手機電池、計算機、汽機車、游艇等設備之發電用。充電時，只要再裝進燃料(酒精等燃料)補充即可。燃料電池，就是一種發電機，就如一般的電池可提供能量。燃料電池是火力、水力、核能外第四種發電方法。以氫氣為燃料、氧氣為氧化劑，經電化學反應後通過化合作用發電，此種燃料電池又叫再生性氫氧燃料電池(regenerative fuel cell, RFC)。其具備的優點為發電效益高，且「**氫和氧化學反應生成水蒸氣，不排放碳化氫、一氧化碳、氮化物和二氧化碳等污染物質，排出物是無污染的水。氫氧燃料電池排放出非常清潔的副產品，幾乎無污染且高效率，**」（註二）不會對環境造成任何威脅，非常符合現代環保的需求。

二、燃料電池種類

1、AFC:鹼性燃料電池（Alkaline Fuel Cell）

半反應:

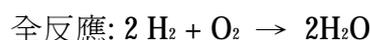


以氫氧化鉀溶液作為電解質，操作溫度 70~100°C。但因電解液是強鹼，容易吸收空氣中的二氧化碳而變質(例:KOH→K₂CO₃)，導致電池的中毒現象而使電池的性質、壽命發生改變。因此鹼性燃料電池需使用純氧，但因純氧的提供使得此燃料電池價格較高。

2、PEMFC:質子交換膜燃料電池（Proton Exchange Membrane Fuel Cell）

兩電極之間夾著高分子薄膜之電解質，需用水保持濕潤，才能成為離子之導體。

半反應:



操作溫度 60~90°C，具有功率密度高、體積小、重量輕、低腐蝕性等特性，但電極須以鉑當催化劑以加快反應，成本較高，且對 CO 非常敏感，還需常以水濕潤。

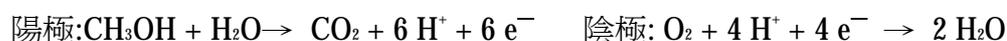
「另一方面，由於 PEMFC 的電功率面積密度高，很適合做為車輛動力，是目前電動車輛技術發展的主軸方向，但需克服的關鍵技術是氫氣的攜帶量是否足夠。」

（註三）

3、DMFC:直接甲醇燃料電池（Direct Methanol Fuel Cell）

將甲醇注入陽極酸性溶液中再處沒催化下氧化產生 CO₂ 與 H⁺，H⁺ 移動至陰極並與氧氣在陰極還原成的氧離子反應生成水。

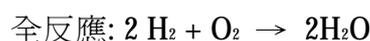
半反應:



操作溫度 50~100°C，以高分子膜作為電解質，再以特殊觸媒使甲醇溶液發生反應，系統簡單、無需氫氣、重量輕、燃料取得容易、價格便宜、無污染或回收等環保問題。

4、PAFC:磷酸燃料電池 (Phosphoric Acid Fuel Cell)

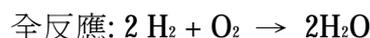
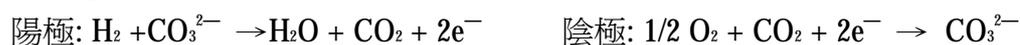
半反應:



操作溫度 160~220°C，採用高濃度磷酸作為電解質，儲存於多孔隙的碳化系介質中。對 CO₂ 不敏感，但燃料中若含有硫或一氧化硫，則會毒化觸媒，造成功能及壽命的縮減。加上採用昂貴的鉑當觸媒，價格較高。在市面上已商業化，發電效率可超過 40%。

5、MCFC: 熔融碳酸鹽燃料電池 (Molten Carbonate Fuel Cell)

半反應:

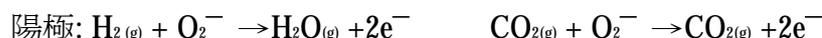


操作溫度 650~800°C，採用熔融態的 Li₂CO₃ / Na₂CO₃ 作為電解質，電解質中碳酸根離子由陰極向陽極移動。效率高、燃料接受彈性大（除了氫氣，也可用一氧化碳作為燃料）、無需使用貴重金屬作為觸媒，反應時重複使用二氧化碳，並可將高熱產生的廢熱再利用，此燃料電池亦被稱為第二世代燃料電池。

6、SOFC: 固態氧化物燃料電池 (Solid Oxide Fuel Cell)

為一種全固態結構的燃料電池，電解質為多孔性之 ZrO₂，並摻有 Y₂O₃，氧離子從陰極移動至陽極。於陽極處重組氣體中之一氧化碳全部轉換成二氧化碳。

半反應:



操作溫度約 1000°C，不需昂貴觸媒，且因反應溫度高，廢熱可充分利用、功率密度高等優點，可設置在大型高溫的電力應用場合，此燃料電池又被稱為第三世代燃料電池。

三、直接甲醇燃料電池與質子交換膜燃料電池的深入探討

由於在這一次的國科會高瞻計劃實驗中，我們是針對直接甲醇燃料電池 (DMFC) 與質子交換膜燃料電池 (PEMFC) 作深入的研究，因此以下我們將詳細的對這兩種燃料電池做探討。

1、直接甲醇燃料電池原理

「直接甲醇燃料電池 DMFC 是質子交換膜燃料電池 PEMFC 的變革，它所用的燃料是甲醇(CH₃OH)，沒有經過重組，直接打入燃料電池內。」(註四) 儲存甲醇燃料比儲存氫燃料簡單多了，因為它不像儲存氫氣那樣需要高壓及低溫。

DMFC 的氧化還原反應是甲醇藉由催化層的作用，在陽極生成二氧化碳以及氫離子並釋放出電子，電子沿著外電路流動，提供電能給外部的負載，氫離子(H⁺)則通過質子交換膜移至陰極，與氧氣和通過外電路傳遞過來的電子反應生成水，水會在陽極被消耗掉，但卻會在陰極產生。

反應方程式如下:

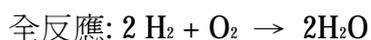
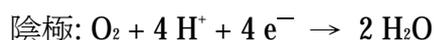
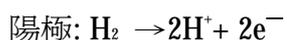


2、質子交換膜燃料電池原理

「質子交換膜燃料電池又可稱為高分子電解質燃料電池或固態高分子電解質燃料電池。」(註五) 是一種以氫與空氣作用而產生電力與熱力的燃料電池，運作溫度在 50°C 至 100°C，無需加壓或減壓，以高分子質子交換膜做為傳導媒介，陰極與陽極的材料皆以鉑為主要觸媒，不會使用到任何化學液體，發電後產生熱和純水。

燃料電池中，質子交換膜燃料電池相對常壓以及低溫的特性，加上對環境無害、對人體無化學危險，非常適合應用在日常生活。

氫原子經由陽極進入電池組，經擴散層移至陽極觸媒反應層，經陽極觸媒作用氧化為氫離子，並釋出電子，此化學反應稱為陽極半反應；氫離子受滲透力驅策，伴隨水分子，經由交換膜遷移至另一端的陰極觸媒反應層；游離的電子經導電板收集，因電位差的緣故，通過連接在導電板上的電路，變成電流產生電力，電子最後會經由陰極導電板送到陰極觸媒反應層；氫離子、電子、加上由陰極導電板輸送來空氣中的氧氣，匯集在陰極觸媒反應層，經陰極觸媒催化而生成水，這化學反應過程為陰極半反應。



四、實驗

由於高瞻計劃便是國科會為了培養中學生實驗的精神，我們便藉由簡易氫氧燃料電池、直接甲醇燃料電池，以及質子交換膜燃料電池這三項實驗，來讓學生親自

探討燃料電池的運作原理，以及讓學生思考如何透過一些裝置的改變來增加燃料電池的效率。

1、簡易氫氧燃料電池實驗

爲了探討燃料電池內氫氧反應，我們先以最簡單的方法來模擬，也就是先將水電解，分別將電解所產生的氫與氧儲存至兩容器中，等蒐集一定量之後，再以鱷魚夾夾住碳棒接至伏特計或安培計，測量氫氣與氧氣反應所產生的電壓與電流，並測試是否能使鬧鐘驅動(響或走動)。

氫氧燃料電池半反應:

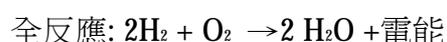


表 1：簡易氫氧燃料電池實驗說明

	實驗方法	備註
實驗一	1、將電解液加入 U 型管中，並把碳棒插入管中，以橡皮塞封緊管口。 2、從 U 行管兩側管口以橡皮管連接至錐形瓶，並把錐形瓶瓶口用橡皮塞塞好。 3、用鱷魚夾夾住碳棒，令一端連接直流電電源供應器，開始電解。 4、電解一段時間後，將連接在電源供應器的鱷魚夾一端改爲連接至伏特計、安培計及鬧鐘，記錄其電壓、電流及觀察鬧鐘是否會叫或走動。	電解液爲 KOH。
實驗二	1、將電解液加入 U 型管中，並把碳棒插入管中，以橡皮塞封緊管口。 2、用鱷魚夾夾住碳棒，另一端連接直流電電源供應器，開始電解，使 U 型管內兩端各充滿氫氣和氧氣。 3、將 U 型管兩側管口以乳頭滴管的橡皮頭塞住。 4、再電解一段時間後，將連接在電源供應器的鱷魚夾一端改爲連接至伏特計、安培計及鬧鐘，記錄其電壓、電流及觀察鬧鐘是否會叫或走動。	電解液爲 KOH。 實驗方式如圖 1 所示
實驗三	同實驗二，但由於反應速率與電極、氣體(H ₂ 、O ₂)、OH ⁻ (aq)的共同接觸面積有關，所以爲了提高接觸面積，便將鋼絲絨置於電解液的液面處，希望藉由鋼絲絨表面積大的特性，增加反應速率。	

<p>實驗四</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1、將電解液加入 U 型管中，並把碳棒插入管中，以橡皮塞封緊管口。 2、將錐形瓶內先裝滿水，倒立至充滿水的盆中，使錐形瓶內無氣體。 3、從 U 行管兩側管口以橡皮管連接至錐形瓶。 4、用鱷魚夾夾住碳棒，另一端連接直流電源供應器，開始電解，以排水集氣法蒐集氫氧。 5、電解一段時間後，將連接在電源供應器的鱷魚夾一端改為連接至伏特計、安培計及鬧鐘，記錄其電壓、電流及觀察鬧鐘是否會叫或走動。 	<p>電解液為 KOH。 實驗方式如圖 2 所示。</p>
------------	---	-----------------------------------

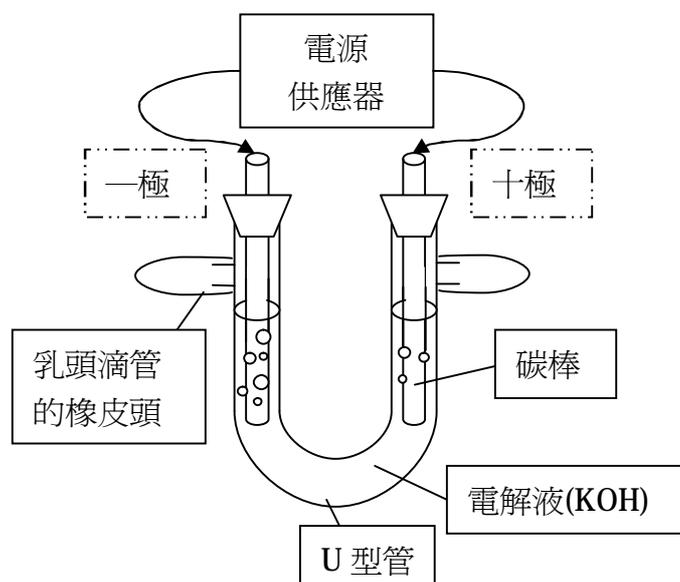


圖 1：簡易氫氧燃料電池實驗

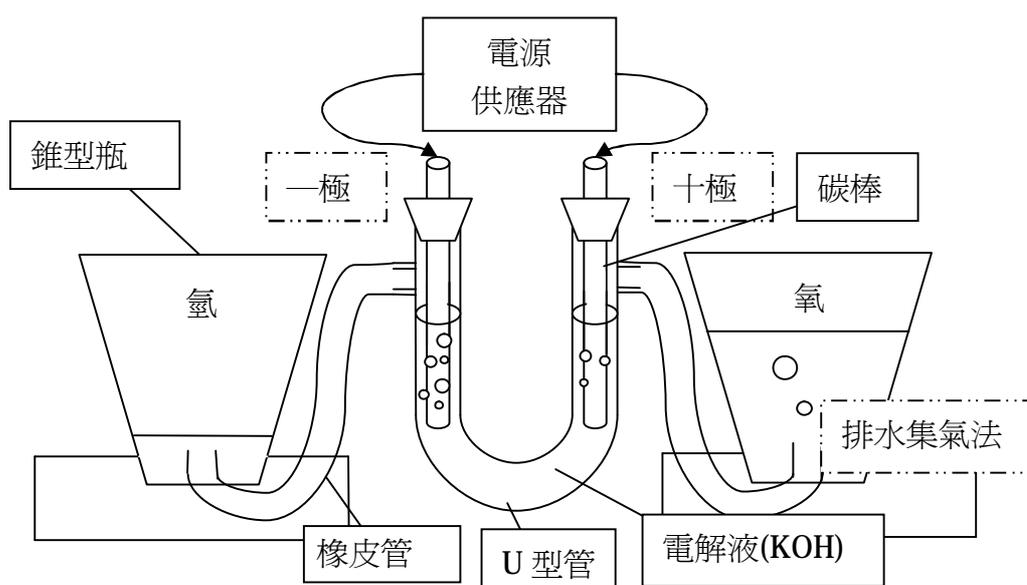


圖 2：簡易氫氧燃料電池實驗

氫燃料電池的效率比較

表 2：簡易氫氧燃料電池實驗結果

	實驗結果	備註
實驗一	1、最大電壓 0.3V ，最大電流 0.3mA 2、電流不夠，電壓也太小，不足以使鬧鐘驅動。 3、三相接觸面積不大，應改用粗一點的碳棒。 4、收集的氫氣、氧氣混有大量空氣。	
實驗二	1、最大電壓 0.8V ，最大電流 28.7mA 。 2、以解決氫、氧濃度不夠純的問題 3、電流、電壓上升。仍不足以使鬧鐘驅動。 4、氣體產生使壓力上升，可能因此加快反應速率。	
實驗三	1、最大電壓 0.83V ，最大電流 29.1mA 。 2、電流、電壓些微上升。但仍不足以使鬧鐘驅動。 3、由於鋼絲絨的材質幾乎是鐵，雖然反應面積較原先大，但因為鐵吸附氣體的能力並不比鉑或活性碳（碳棒）強，所以效果幾乎不明顯。	置入鋼絲絨
實驗四	1、最大電壓 1.4V ，最大電流 50.0mA 。 2、電壓已足夠使鬧鐘叫。 3、利用排水集氣法，可能因為錐形瓶內的水壓而將較多的氣體壓入 U 型管，氣壓上升，而使反應速率加快。	改用排水集氣法。
結論	最高電壓： 1.4V 最高電流： 50mA 最佳功率： 0.07W 雖然系統已可產生足夠的電壓讓鬧鐘轉動，但 H_2 、 O_2 的反應實在太慢，以致於電壓、電流很難再向上提升，是實驗上所面臨的困難。	

2、直接甲醇燃料電池實驗

使用不同濃度的甲醇溶液，在甲醇燃料電池中反應，測量其反應所產生的電壓與電流，並測試是否能使鬧鐘驅動(響或走動)。

表 3：直接甲醇燃料電池實驗說明

	實驗方法	備註
實驗一	1、使用濃度為 2% 的甲醇，加入直接甲醇燃料電池中。 2、於甲醇燃料電池另一端之孔以打氣筒注入空氣，以提供足夠的氧氣，待其反應。	如圖 3 所示。

氫燃料電池的效率比較

	3、測出其反應所產生的電壓、電流。	
實驗二	1、同實驗一，改加入 3%的甲醇。	
實驗三	1、同實驗一，改加入 4%的甲醇。	
實驗四	1、同實驗一，改加入 5%的甲醇。	

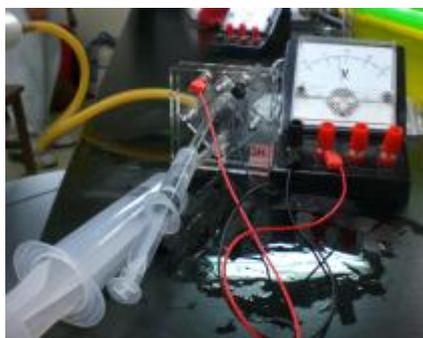


圖 3: 直接甲醇燃料電池實驗

表 4：直接甲醇燃料電池實驗結果

	實驗結果	備註
實驗一	最高電壓：0.3 V 最大電流：130mA 平均電流：80mA	鬧鐘不可響。
實驗二	最高電壓：0.5 V 最大電流：150mA 平均電流：85mA	鬧鐘不可響。
實驗三	最高電壓：0.7 V 最大電流：180mA 平均電流：100mA	鬧鐘不可響。
實驗四	最高電壓：0.4 V 最大電流：160mA 平均電流：110mA	鬧鐘不可響。
結論	由實驗結果我們發現，當以 4%的甲醇溶液加入時，可產生最大電壓約 0.7V，且有最佳功率。	鬧鐘不可響。

3、質子交換膜燃料電池實驗

表 5：質子交換膜燃料電池實驗說明

	實驗方法	備註
實驗一	1、將電解液加入 U 型管中，並把碳棒插入管中，以橡皮塞封緊管口。 2、從 U 行管兩側管口以橡皮管連接至有側管的試管上，當緩衝用，防止電解液直接衝入燃料電池內，毒化電池，再以橡皮管接至質子交換膜燃料電池上。 3、用鱷魚夾夾住碳棒，令一端連接直流電電源	如圖 4 所示。

氫燃料電池的效率比較

	<p>供應器，開始電解。</p> <p>4、將電解所產生的氫與氧透由上述裝置注入質子交換膜燃料電池內反應，並測其電壓、電流。</p>	
實驗二	<p>1、將事先已蒐集好的氫氣注入質子交換膜燃料電池。</p> <p>2、用打氣筒將空氣注入質子交換膜燃料電池內，以提供足夠的氧氣，使氫與氧在質子交換膜燃料電池內產生反應。</p> <p>3、測出其反應所得到的電壓和電流。</p>	
實驗三	<p>1、將已蒐集好的氫氣注入質子交換膜燃料電池內。</p> <p>2、改以純氧氣打入質子交換膜燃料電池內。</p>	
實驗四	<p>1、重複實驗二的步驟做出兩組實驗。</p> <p>2、將兩組實驗串聯。</p>	

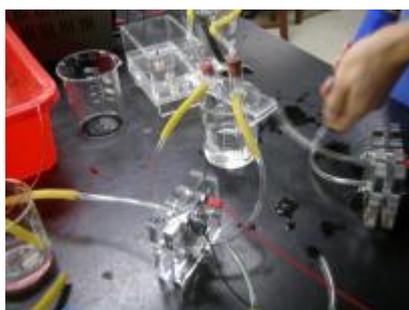


圖 4：質子交換膜燃料電池實驗

表 6：質子交換膜燃料電池實驗結果

	實驗結果	備註
實驗一	<p>最高電壓：0.7 V</p> <p>最大電流：140mA 平均電流：90mA</p>	
實驗二	<p>最高電壓：0.9 V</p> <p>最大電流：150mA 平均電流：110mA</p>	
實驗三	<p>最高電壓：0.9 V</p> <p>最大電流：300mA 平均電流：160mA</p>	
實驗四	<p>最高電壓：1.85 V</p> <p>最大電流：0.73A 平均電流：680mA</p>	
結論	<p>在純氫與純氧的情況下，可產生最大電壓、電流及功率。</p>	

參●結論

透過簡易氫氧燃料電池、直接甲醇燃料電池，以及質子交換膜燃料電池這三項實驗的親自操作，並試圖再提高這些電池功率的改良，我們發現要提高化學反應的效率，實在並不是一件容易的事，雖然我們知道影響反應速率的有接觸面積、濃度、溫度、催化劑等等因素，但儘管有時提高了這些變因，卻還是達不到我們所預期的效果，不是因為這種反應本來就實在太慢，就是因為我們並沒有剛好找到它效率最高的那個點。所以雖然氫燃料電池因為其再生性以及對環境的零污染性而被認為是未來理想的能源，但其實氫燃料電池要達到能在生活上廣泛的使用，甚至是商品化的目標，實在必須再好好的深入研究。

雖然我們在作實驗時，遇到不少困難，像是儀器並非應有盡有，甚至有時真的毫無頭緒再如何將實驗做下去，不過我們還是在其中領悟了不少知識，除了更明白燃料電池的運作原理、方式，還有為了增加燃料電池的功率，也學到了激發創意來解決問題，有時甚至為了要增加三相反應的表面積，曾想出試圖要將兩根碳棒同時塞入橡皮塞中等較難達成的想法；組員間除了互相討論解決問題的方法外，若是遇到了組員不認同自己的想法的時候，更必須試圖解釋，甚至實際做實驗證明，以說服他人，這其中的過程，真的是光靠書本講解不來、也學不到的，所謂百聞不如一見，實際操作，果然是比光在書本上了解到的東西來的也體會的多!!

肆●引註資料

註一：大英百科全書線上繁體中文版-燃料電池。擷取日期:2007.3.13，

取自 <http://daying.wordpress.com/>

註二：物理小站-燃料電池。擷取日期:2007.3.14，

取自 <http://tea513.myweb.hinet.net/55.htm>

註三：張嘉修。生質氫能。科學發展。433期。35頁。

註四：高瞻計畫資源平台。擷取日期:2007.3.17，

取自 <http://highscope.ch.ntu.edu.tw/?p=568>

註五：楊志忠、林頌恩、韋文誠。燃料電池的發展現況。科學發展。367期。32頁。