

目錄

摘要

誌謝

目錄

一、前言	1
二、甲醇重組器的反應原理	2
2.1 甲醇重組部份氧化法 (Partial Oxidation)	2
2.2 水蒸氣重組法 (Steam Reforming)	3
2.3 自動發熱重組法 (Autothermal Reforming)	3
三、實驗方法及步驟	3
3-1 實驗設備	3
3-2 實驗方法	7
四、結果與討論	20
五、結論與建議	26
5.1 結論	26
5.2 建議	26
六、建設小型甲醇重組器	27
6.1 本體加工	27

6.2 電系系統 :	28
6.3 燃料供應系統 :	29
6.4 溫度控制系統 :	30
實驗設備建立過程	31
參考文獻	39

一、前言

現今社會科技不斷的進步，人類生活也越來越舒適，但是地球上的自然環境也面臨嚴重的污染問題，且目前地球資源也快被用盡，如石油，故新能源的開發已是刻不容緩。

新能源的選擇與使用必須潔淨、污染度低、高效能。氫能是被公認為最有希望取代的新能源。

以氫為燃料的燃料電池(Fuel Cell)是一種能源直接轉換的發電裝置，發電原理為電解水的逆反應，但如果燃料電池使用在小型車輛上，氫氣的來源及儲存是目前最需克服的問題，由於氫氣為相當易燃的氣體，故若是直接把氣態的氫氣直接灌於高壓鋼瓶中，是非常危險的。目前以小型重組器直接於車上生產氫氣取代儲氣罐是最有前瞻性的方法！氫氣可經由甲醇、天然氣 等碳氫燃料，經由重組程序取得。其中甲醇燃料具有易分解，反應溫度低(250)的特性，相當適合水蒸氣重組法。重組的方法有部分氧化法(Partial Oxidation)、水蒸氣重組法(Steam Reforming)、自發熱能重組法(Autothermal Reforming)。故小型重組器利用碳氫化合物進行重組反應來產生氫氣供給燃料電池所使用，所以研究設計一重組器為發展燃料電池系統上非常重要的一環，在未來燃料系統的發展上是不可或缺的。

二、甲醇重組器的反應原理

最近幾年在重組器方面，國外已如火如荼的進行研究發展，尤其於車上直接產生氫氣為主要目標，亦針對起動特性、穩態特性 等進行探討，但目前為止都尚未符合實際行車需求。

重組器一般都以甲醇或甲烷來作為重組器的燃料，在較小的系統中所使用的通常為甲醇，在大型的系統中則以甲烷為較常使用，主要的原因是因為甲醇重組器反應較為簡單，而甲烷重組器反應較為複雜，牽涉許多反應步驟及程序，另外甲烷常溫下為氣體，需要壓力瓶盛裝，才能放置，故使用上極為不便。因此本專題以甲醇為燃料，我們同時通入空氣來進行重組製氫反應，使反應器觸媒內同時進行甲醇部分氧化，並針對操作條件和反應特性進行研究及探討。

一般實驗反應方法分為三大類：

2.1 甲醇重組部份氧化法 (Partial Oxidation)

此方法為目前我們專題所使用之研究方法，其利用原理為導入適當

空氣及一定比例之甲醇燃料，進入重組器內，於冷起動時，使觸媒進行重組反應，並分析實驗結果。

2.2 水蒸氣重組法 (Steam Reforming)

此種方法的進料與部份氧化法不同，水蒸氣重組法的進料分別為水和甲醇。甲醇水蒸器重組反應是吸熱反應，故此法須要藉由其他方式來提供熱能才能不斷進行反應，但是水蒸氣重組法的優點為其氫氣濃度為三種實驗方法中最高。

2.3 自動發熱重組法 (Autothermal Reforming)

這方法是結合甲醇重組部份氧化法和水蒸氣重組法，其需要同時導入空氣、水、甲醇作為進料條件，故在操作上較為困難複雜，控制也較為不易。

三、實驗方法及步驟

3-1 實驗設備

本研究的主體架構重組器(圖 3-1)，由本實驗室自行組裝(圖 3-2)，重組器本體周邊設備包括：電系系統、燃料供應系統、氣流溫度控制系統、氣體取樣系統。其中重組器的觸媒由工研院化工所提供(圖 3-3)，觸媒規格如表一所示。蜂巢式陶瓷擔體塗佈上觸媒，主要成分為 Pt 加上混合氧化 ($\text{Cu-ZnO/Al}_2\text{O}_3$)。

電系系統主要包括：

- 電壓電流控制板 (圖 3-4): 本重組器架構共有 2 個電壓錶，其中一個電壓錶是用來測量電瓶輸出電壓是否正常，而另一電壓錶是來測量重組器上電器設備作用是否正常。此外本重組器有 2 個電瓶用來供應電壓，是因為實驗時加熱塞需要較大的功率，以免影響到燃油泵的電壓，改變進料量而影響實驗結果。

另外本重組器每兩個加熱塞搭配一個電流錶，電流錶功用為測量加熱塞供應電流，一支加熱塞電流範圍約 9.5A，故實驗時若電流過大，可能故障原因為加熱塞或線路短路；反之若電流太小，則可能是加熱塞或電路斷路，或其中一支加熱塞壞掉沒有作用。

- 電源供應器 (圖 3-5): 加熱塞繼電器為 12V 直流電，由電源供應器提供電源，而此電源供應器電源為 110V。而加熱塞需透過溫控箱來控制加熱溫度，故電源供應器的功用為以小電流控制大電流供加熱塞使用。
- 充電機 (圖 3-6): 隨時充電給電瓶，使加熱塞及燃油泵在實驗過程中不會因為電壓的不穩定而影響實驗結果。

液體燃料系統：

- 過濾器 (圖 3-7): 用來過濾甲醇燃料中的雜質。
- 電動燃油泵 (圖 3-8): 將油箱中的燃料輸送至重組器本體。

- 調壓閥：調節甲醇管路壓力。
- 流量計（圖 3-9）：用來量測甲醇進入重組器內的流量。
- 燃油噴嘴（圖 3-10）：燃油噴嘴用來將進入重組器的甲醇燃料霧化，將燃料霧化為微小顆粒，再經過加熱塞加熱，將燃料汽化，增加與觸媒接觸時的反應效率。

氣體供應系統：

- 過濾器：過濾空氣中的水分、雜質，使這些物質不會影響實驗結果。
- 流量計（圖 3-11）：本重組器的空氣流量計分別有大小 2 支流量計，是因為冷啟動時，需要大量的空氣，故冷啟動時 2 支流量計皆有作用。當冷啟動結束，實驗轉為穩態，此時不需要大量的空氣，且由於大流量計的精度無法達到要求，所以用小流量計來量測空氣量。
- 單孔及多孔噴嘴（圖 3-12）：重組器分別使用 1 支單孔及 1 支多孔噴嘴，單孔噴嘴孔徑約為 3mm，當此噴嘴噴口朝向切線角度時，將可造成渦流。而多孔噴嘴共有 4 個孔。每個孔徑約為 1mm，可讓空氣分佈均勻且利於燃料與空氣的混合。

氣流溫度控制系統：

- 加熱塞（圖 3-13）：每支加熱塞加熱功率為 120W，可提供熱量給

重組器，促使觸媒快速達到反應溫度。

- 溫度擷取裝置：分別有溫控箱及溫度感知器
- 溫控箱（圖 3-14）：用來控制加熱塞加熱溫度，且可將由溫度感知器所偵測到的電壓訊號放大，連接至裝到電腦上的擷取卡，將量測溫度作紀錄。
- 溫度感知器（圖 3-15）：本系統的溫度感知器形式為 K-type 之熱電偶，其可量測溫度範圍為 0 ~1200 。分別裝在燃料噴霧的前端及後端、觸媒進口處及出口處、氣體取樣處等。

氣體取樣系統：

- 冷凝器（圖 3-16）：將觸媒出口過來之氣體，經過冷凝器的冷凝作用，將排出氣體中的水分過濾。氣體需要過濾的原因為避免液態變成氣態的膨脹作用而傷到氣相層析儀，故需先經冷凝器將水分過濾後，才可進行氣體分析作用。
- 抽氣泵（圖 3-17）：將冷凝過濾後的氣體，經由抽氣泵抽取至取樣袋收集後，再進行分析。
- 氣相層析儀「GC-Agilent 6850」（圖 3-18）：用來分析甲醇重組過後的氣體。氣相層析儀為本實驗中極為重要的設備，故儀器測量的準確性極為重要。本實驗在儀器校正方面，分別訂購了四支濃度不同的標準氣體（H₂、N₂、CO、CO₂）用來校正檢量線，且 R²

(相關係數) 必須維持在 0.999 以上, 往後的氣體濃度即根據此曲線所求出。氣相層析儀設定條件為攜帶氣體流率為 10mL/min、注射口溫度 100 、爐溫 160 、偵測溫度 200 。

- NDIR 廢棄分析儀 (圖 3-19): 本實驗儀器主要用來測量 O_2 濃度, 所使用的型式為 HORIBA MEXA-554JA 非分散型紅外線氣體分析儀。可量測的成分及範圍 CO : 0.00~10.00 % vol (0.01)、HC : 0~2000ppm vol (2) / 2000~20000ppm vol (10)、 CO_2 0.00~20.00 % vol (0.02)、 O_2 : 0.00~25.00 % vol (0.02)。

3-2 實驗方法

本實驗以研究重組器冷起動暫態特性為主, 採用部分氧化法 (Partial Oxidation) 來進行冷起動實驗研究, 藉由實驗來找出冷啟動最佳實驗參數與最佳實驗操作程序, 實驗參數有加熱功率 (Heating Power)、加熱溫度 (Heating Temperature)、甲醇進料率及空氣流率。實驗開始前, 由於甲醇實驗反應後會產生 CO 等有害人體之氣體, 故需保持室內空氣流通, 並紀錄當時大氣壓力、溫度及相對溼度等, 氣溫的不同將會影響實驗的結果, 並打開氣相層析儀至待機狀態和啟動資料蒐集系統。

實驗開始：

- 依實驗所設定各項參數，再打開加熱系統，並導入 10L/min 的空氣，並開始紀錄各部份加熱溫度。
- 10 秒後打開液體燃料供應系統，並把甲醇進料量調整至正確的進料量，密切注意空氣與甲醇的進料數據變化。
- 同時每隔 60 秒利用氣體取樣泵以取樣袋取樣一次，取樣氣體需經過冷凝器冷凝後再取樣，以防止有水分進入氣相層析儀中。
- 每次實驗約取樣 6~7 包取樣袋，由 GC 來分析氣體的成份及濃度，判斷何時氫氣的產量最大。
- 分析完後取樣袋需抽真空，不能留下任何氣體於取樣袋內，以免影響下次的實驗結果。
- 冷起動測試每次約隔 5~6 小時，待重組器各部份之溫度完全降至室溫時才可再進行下次之實驗。

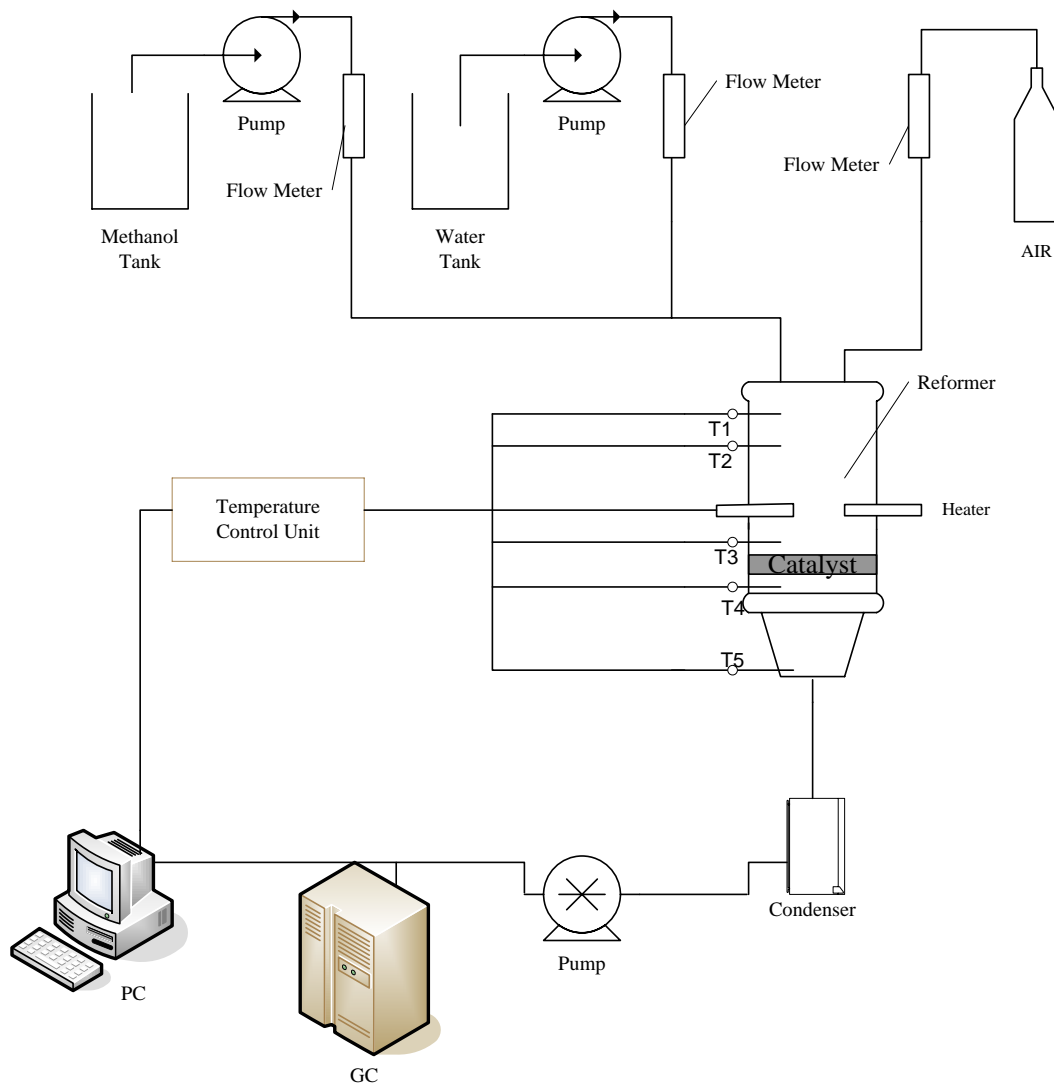


圖 3-1 甲醇重組器實驗架構



圖 3-2 重組器

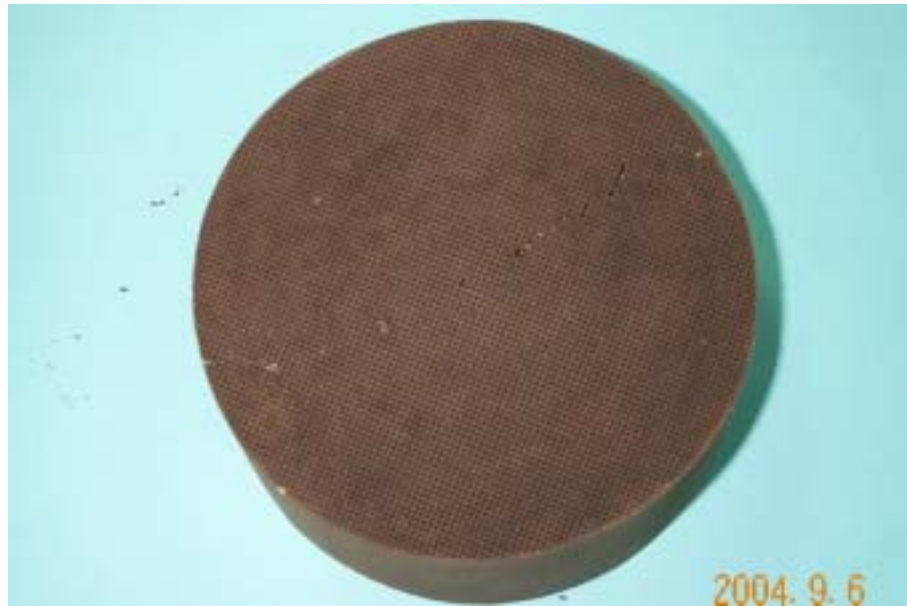


圖 3-3 觸媒

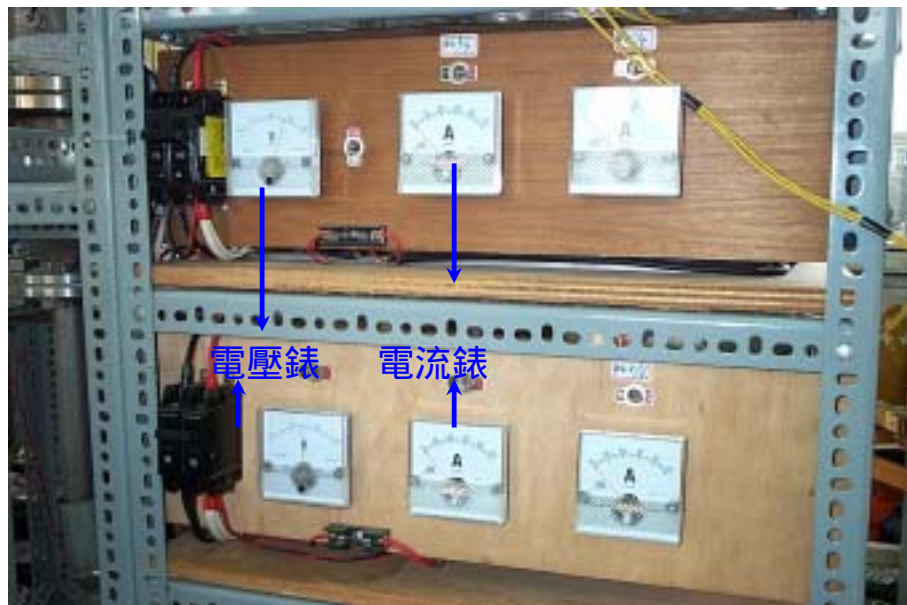


圖 3-4 電壓電流控制板



圖 3-5 電源供應器



圖 3-6 充電機



圖 3-7 過濾器



圖 3-8 電動燃油泵



圖 3-9 液體流量計



圖 3-10 燃油噴嘴

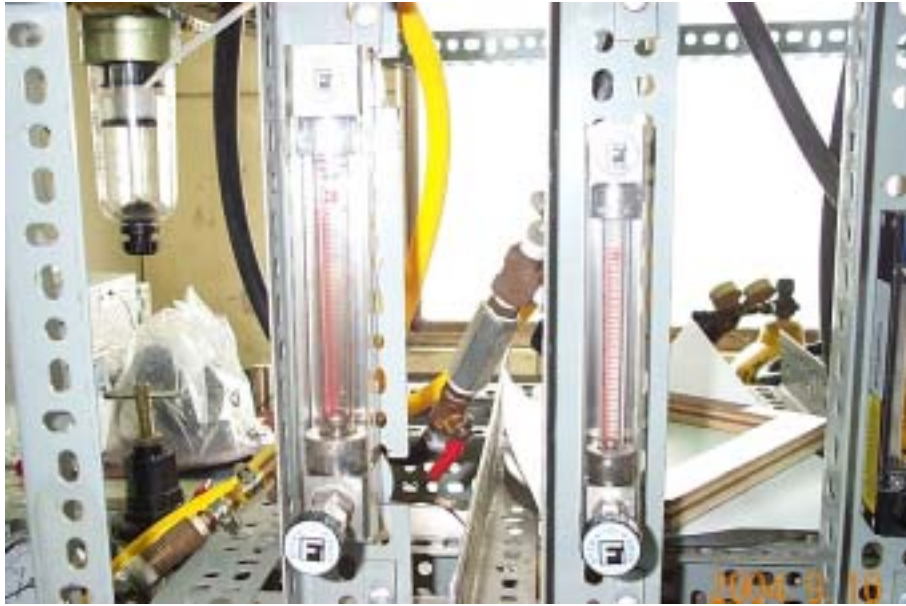


圖 3-11 空氣流量計



圖 3-12 單孔及多孔噴嘴



圖 3-13 加熱塞



圖 3-14 溫控箱

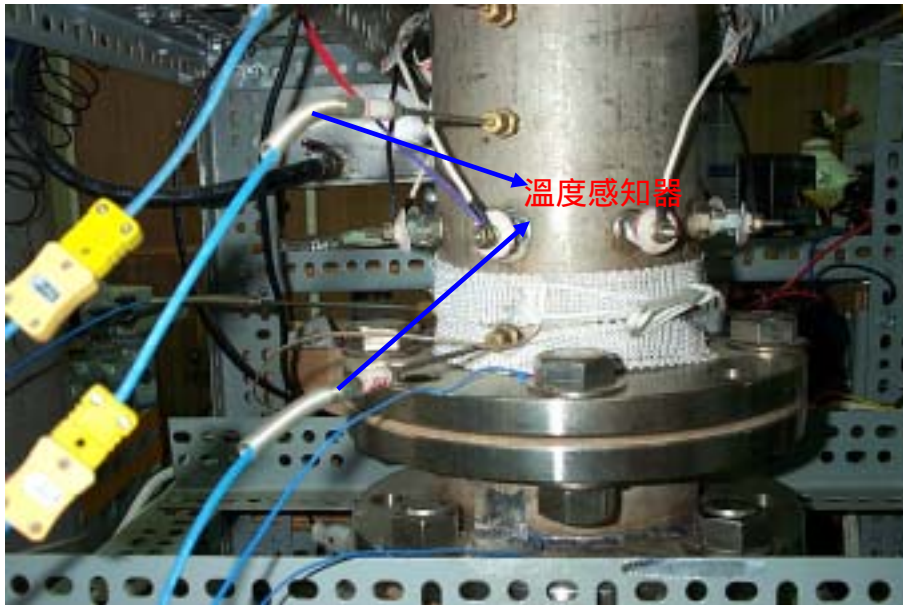


圖 3-15 溫度感知器



圖 3-16 冷凝器



圖 3-17 抽氣泵



圖 3-18 氣象層析儀



圖 3-19 NDIR 廢氣分析儀

表 1 重組器規格

本體	
反應室	124 mm 不銹鋼管
高度	510 mm
噴嘴	燃料、水、空氣
加熱器	120W×8 支加熱塞
加熱器電源	12VDC
觸媒	
擔體	陶瓷
直徑	117 mm
長度	50 mm
成分	Pt 與 Cu-ZnO/Al ₂ O ₃
孔數	64 cells/cm ²

四、結果與討論

在實驗開始前，即針對不同加熱功率及配合不同加熱溫度、甲醇進料量、空氣流率等操作參數來進行實驗，來找出最佳冷起動的實驗參數及操作順序。圖 4-1 及圖 4-2 即為上述設定的參數條件下，從冷起動到觸媒達 200 所需時間的比較。

圖 4-1 即為加熱功率 960W，在不同甲醇進料量（10mL/min、14mL/min）及不同加熱溫度（40、60、80）下，空氣供應率對觸媒出口溫度（ T_4 ）達 200 之時間的影響比較。由圖可知，當加熱溫度設定 80、甲醇進料率為 14mL/min、空氣流率為 70L/min 時，可以達最佳的冷起動效果，其所需的時間約為 220 秒；另外在設定加熱溫度為 60、40 者，空氣流率為 70L/min 時也可獲得較佳的冷起動效果，其所需的時間約 230 秒和 260 秒。於甲醇進料率 10mL/min，加熱溫度 80 下，空氣流率在 60L/min 時可以獲得最佳冷起動效果，時間約 263 秒，而其他設定加熱溫度 60、40 者，空氣流率約 60L/min 時亦可獲得最佳冷起動時間，分別為 270 秒和 275 秒，故在上述甲醇供應率及空氣流率下，設定溫度 80、60、40 者觸媒均可達自行反應溫度。

圖 4-2 為空氣供應率對觸媒出口溫度達 200 之時間的比較，其

加熱功率設定為 480W，其他設定條件與前著相同，由圖 4-2 可知在加熱溫度 80、甲醇進料率 14mL/min、空氣流率 70L/min 的參數下，冷起動達 200 所需時間最短約 245 秒。甲醇進料率約在 10mL/min 時、空氣流率 60L/min，其冷起動時間約 280~300 秒之間。

由上述實驗可知在加熱功率 960W、加熱溫度 80、甲醇進料率 14mL/min、空氣流率 70ml/min 的操作參數下冷起動所需的時間最短約 220 秒，從實驗中可知加熱功率越大，冷起動時間越快。另外甲醇進料率越大、加熱溫度越高，冷起動效果越好！

由圖 4-3 所示為冷起動暫態過程重組器各部位的溫度變化圖，其設定參數為加熱功率 960W、加熱溫度 80、甲醇進料 14mL/min、空氣流率為 70L/min。以下為冷起動暫態過程之重組器各部份溫度變化圖各溫度感知器的說明：

- T₁：燃料噴霧前端溫度
- T₂：燃料噴霧後端溫度
- T₃：觸媒進口溫度
- T₄：觸媒出口溫度

由圖 4-3 所示可得知 T₁、T₂、T₃ 在冷起動開始之後，甲醇立刻和高溫的加熱塞及空氣接觸，促使甲醇產生劇烈的氧化燃燒放熱而溫度升高，此時由於觸媒尚未達工作溫度，還未作用，故排出氣體還不能

作為實驗之數據。本實驗即利用加熱器與甲醇氧化放熱之熱量帶至觸媒加溫，當觸媒出口溫度加熱至我們所設定的加熱溫度 80 時，加熱器即停止加熱。此時由於加熱器停止加熱，加上空氣量減少，甲醇不會在重組器前端進行氧化作用。使甲醇在重組器前端的氧化熱量降低，故 T_1 、 T_2 、 T_3 的溫度迅速下降，此時觸媒溫度已經上升，所以可以降低空氣流量，使甲醇於觸媒處產生反應。因此 T_4 則因為觸媒已經能自行反應所以溫度快速上升。

由圖 4-4 所示為冷起動暫態過程之產生氣體成分與觸媒出口溫度變化，由圖可了解冷起動實驗所產生之氣體 H_2 、 CO_2 的濃度變化。所設定之參數為最佳冷起動條件，加熱功率為 960W、加熱溫度為 80、甲醇進料率為 14mL/min、空氣流率為 70L/min。由圖可知，當 T_4 (觸媒出口溫度) 尚未達 80 時， H_2 的濃度接近於零，其原因是為了加快升高觸媒的溫度，使甲醇和空氣是以接近理論混合比 (A/F 約 6.45) 的狀態下進行氧化反應，釋放大量的熱能，針對觸媒和重組器本體加熱，因此這段時間內大部份的甲醇皆因為劇烈的氧化反應而燃燒掉，故一開始的 CO_2 為 5% 而 H_2 濃度為零，直到溫度達 80，加熱器不再加熱時，並降低空氣量後，甲醇才由劇烈的氧化作用改為部分氧化反應的狀態，此時也開始有氫氣的產生；之後隨著觸媒出口溫度快速的上升， H_2 濃度也開始升高， CO_2 的濃度也緩緩的上升；當觸媒

的出口溫度達 350 時，氫氣濃度即達穩態，濃度約 37%。

圖 4-5 為氣相層析儀所分析出甲醇經實驗重組後所產生的氣體及濃度。此圖形同為最佳冷起動效率甲醇進料率 14mL/min、空氣流率 10L/min、加熱功率為 960W、加熱溫度為 80 的實驗參數下所分析出來的結果。由圖 4-5 可知氫氣是最快被分析出來的，時間約 2 分鐘，再來才分別為氮氣、一氧化碳及二氧化碳，時間分別為 3.5 分鐘、4 分鐘即最後分析出來的 11 分鐘 所以每次分析時間設定為 12 分鐘，須等前一次分析結束後，才可進行下次的實驗分析。

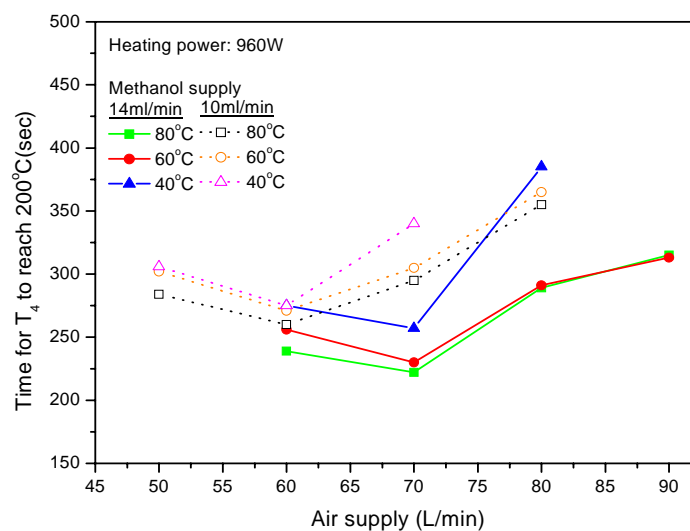


圖 4-1 加熱功率設定為 960W

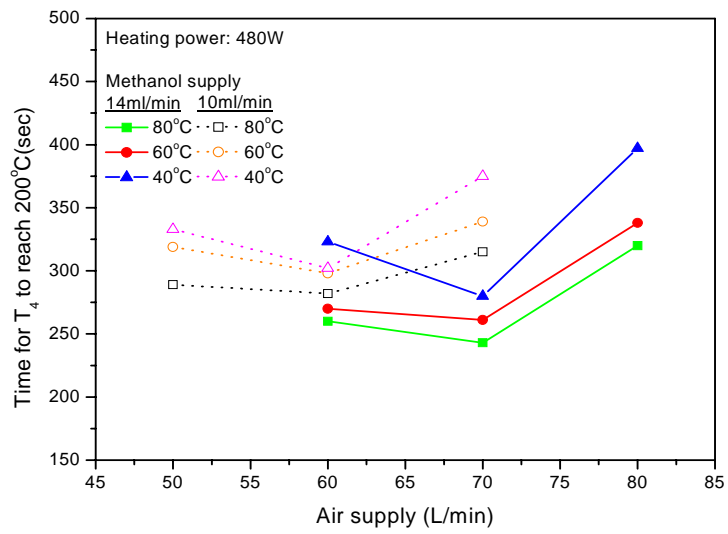


圖 4-2 加熱功率設定為 480W

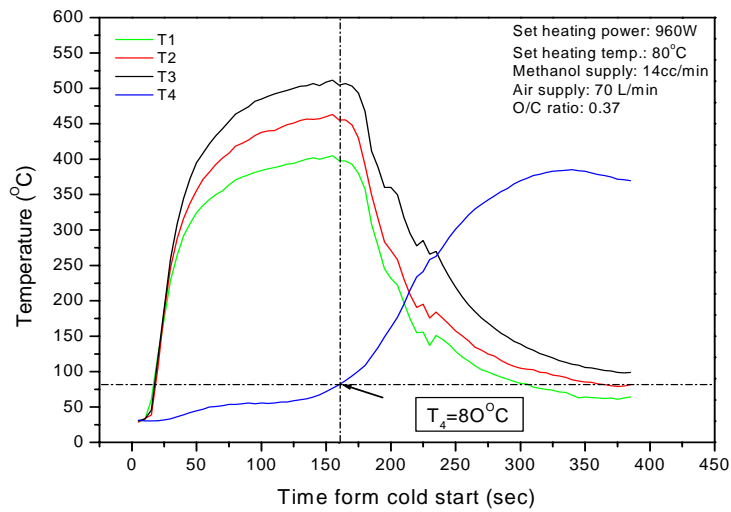


圖 4-3 重組器各部位的溫度變化圖

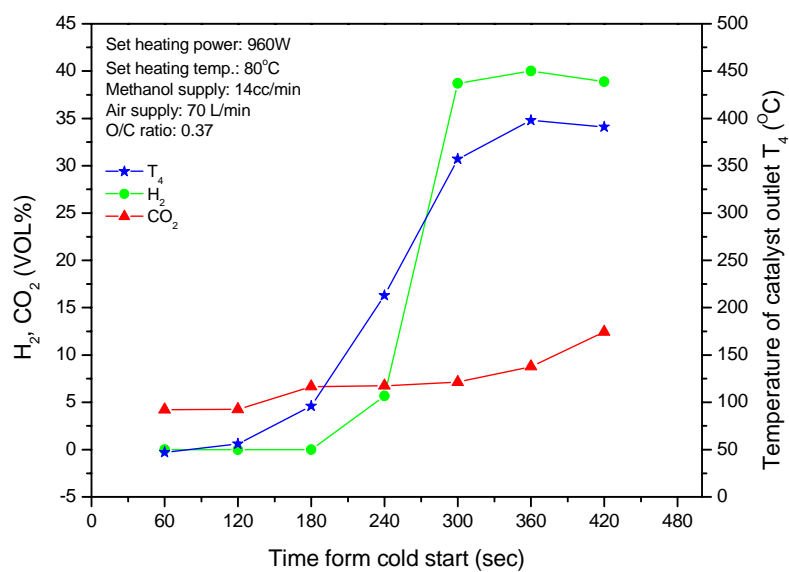


圖 4-4 氣體成分與觸媒出口溫度變化

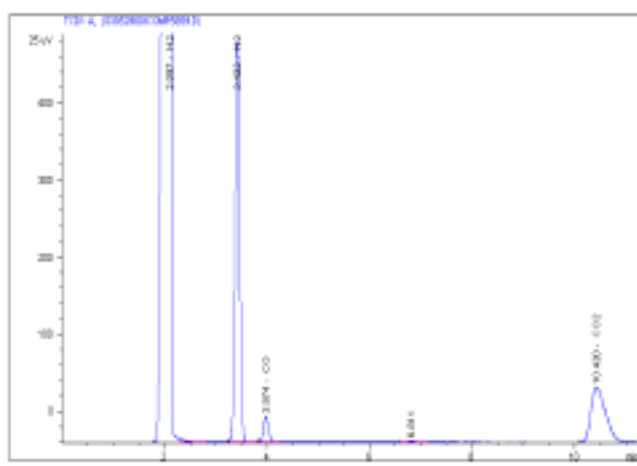


圖 4-5 氣相層析儀分析圖

五、結論與建議

5.1 結論

到目前為止，本專題所設計的重組器已經可以順利運作，而且可以將所設定之參數進行實驗與分析出我們所需要的氫氣。在冷起動方面，在甲醇進料率為 14mL/min、空氣流率為 70L/min、加熱功率為 960W、加熱溫度為 80 時是為本重組器冷起動反應最快的實驗參數，而氫氣之濃度也在觸媒溫度達約 350 時獲得最大濃度約 37%。

5.2 建議

- 在進料混合方面，噴嘴如何把甲醇和空氣、水充分的混合，使得重組器進行 Autothermal Reforming 來提升 H₂ 的濃度。
- 關於觸媒，繼續尋找更多的資料及製造觸媒的方法。
- 如何減少重組器的熱損失，避免過多的甲醇被燒掉而降低 H₂ 的濃度。
- 量測系統方面可建立一套更加完整的氣體擷取系統，用電腦來控制反應溫度和氣體產生量，便於觀察對時間變化。
- 氣體產生方面，可建立一組氣體純化機構，可選擇再通入氧氣使一氧化碳轉化為二氧化碳，用來減少一氧化碳的濃度。

- 目前甲醇進入重組器內需靠外部電加熱裝置，若能改變本身流道設計，提高重組器本身的熱效率進而利用反應本身所產生的熱量來汽化燃料，減少實驗熱量的損失。

六、建設小型甲醇重組器

圖 6.1 為小型甲醇重組器示意圖。在前述所建設之甲醇重組器可順利運轉完成後，學生又輔助學長建立一小型甲醇重組器，其目的為使體積更加的縮小而實用。小型甲醇重組器是以現有之重組器為參考範本所建立。

小型甲醇重組器分別依序四大部分來進行架構的建立，其架構分別為(1)本體建立、(2)電系加工、(3)燃料供應系統加工、(4)溫控系統建立。

6.1 本體加工：

- 本體盲塊加工(圖 6-1)：由於盲塊上端分別為甲醇與空氣燃料的進料端，故在加工時，須考慮到預防兩支噴嘴會產生擾流問題，故兩支噴嘴加工上須有一定的距離。但兩支噴嘴也不可太靠近本體壁緣，太靠近本體內壁會使燃料附著在壁上產生水滴現象。

- 燃料汽化室加工(圖 6-2)：燃料汽化室主要為讓甲醇燃料與空氣在本段充分的進行汽化混合，故加工安裝了 4 支加熱塞加熱，促使燃料汽化，提高溫度，使得觸媒可快速達反應溫度。另外也安裝 1 支溫度感知器來量測汽化室的溫度。
- 觸媒反應段加工(圖 6-3)：本反應段主要為在觸媒前後加工安裝溫度感知器，分別用來測量觸媒段入口與出口的溫度。並在反應段末端安裝氣體取樣口，來抽取重組氣體進行分析。

本體各部份都是單獨加工後，再進行組裝的。當組裝完成後再分別裝設上加熱塞、溫度感知器等，再將完成後的本體安裝至角架上。如圖 6-4、圖 6-5 所示。

6.2 電系系統：

- 電源供應器(圖 6-6)：功用為將溫控箱 110V 的交流電轉為 12V 的直流電，供加熱塞之 Relay 使用，其 Relay 功用為小電流控制大電流，可避免加熱塞開關接點燒壞。本實驗電源供應器的規格為 6A、12V。

- 電壓、電流錶(圖 6-7)：本實驗每支加熱塞搭配 1 個電流錶，用來量測加熱塞之耗用電流，由電流錶上的指示來判斷加熱塞及電路的狀況，電流若太大則加熱塞或線路可能短路；電流若太小可能原因為加熱塞燒壞或電路的斷路、電瓶沒電等。

當電源供應器及電壓、電流錶依照所設定之最佳位置來安裝完成後，我們便開始電路系統的配線。(圖 6-8)為電壓、電流錶的完成圖、(圖 6-9)為加熱塞電路配線。

6.3 燃料供應系統：

- 燃料泵的裝設(圖 6-10)：由於甲醇具有腐蝕性，故實驗用的燃料泵的選擇，必須是可以耐甲醇不被腐蝕的燃料泵，才可延長燃料泵的壽命。
- 噴嘴(圖 6-11)：用來將進入重組器的甲醇燃料霧化，甲醇燃料被霧化成微小顆粒，促使空氣與甲醇充分混合，再利用加熱塞加熱汽化，來增加與觸媒接觸反應的效率。

- 流量計(圖 6-12)：選購流量計前，須先計算進料率的大小與 O/C(O₂/CH₃OH 莫耳數比)，來得知實驗時甲醇與空氣的流量，再依此流量精度大小來購買流量計。
- 調壓過濾器(圖 6-13)：此調壓組用來過濾空氣中的水份及雜質，以免影響實驗的結果。
- 限流閥：調整燃料系統之壓力及流量的大小，得以調整重組器所需之甲醇進料量。

6.4 溫度控制系統：

- 加熱塞：本實驗使用之加熱塞為柴油引擎所使用的加熱塞，其加熱功率為 120W，用來提供重組器反應所需之熱量使用。
- 溫度感知器：實驗用的熱電偶為 K-type 式的感知器，用來擷取重組器各部位置之溫度變化。

當這四大系統分別建立完成後，再分別依各部份進行測試，若是測試

皆可順利進行，便可開始進行實驗，找出最佳操作參數與反應特性。

(圖 6-14 為設備完成圖)。

實驗設備建立過程

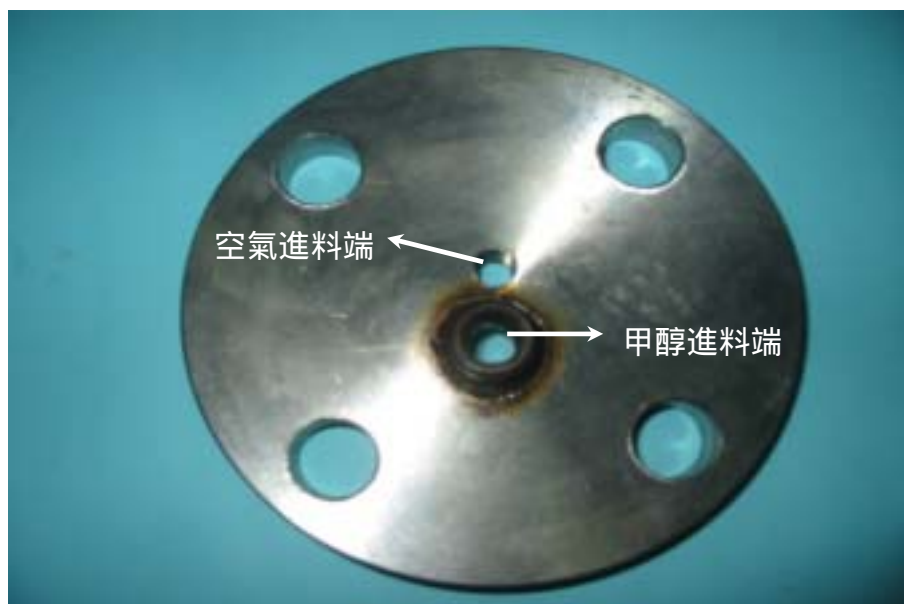


圖 6-1 本體盲塊加工

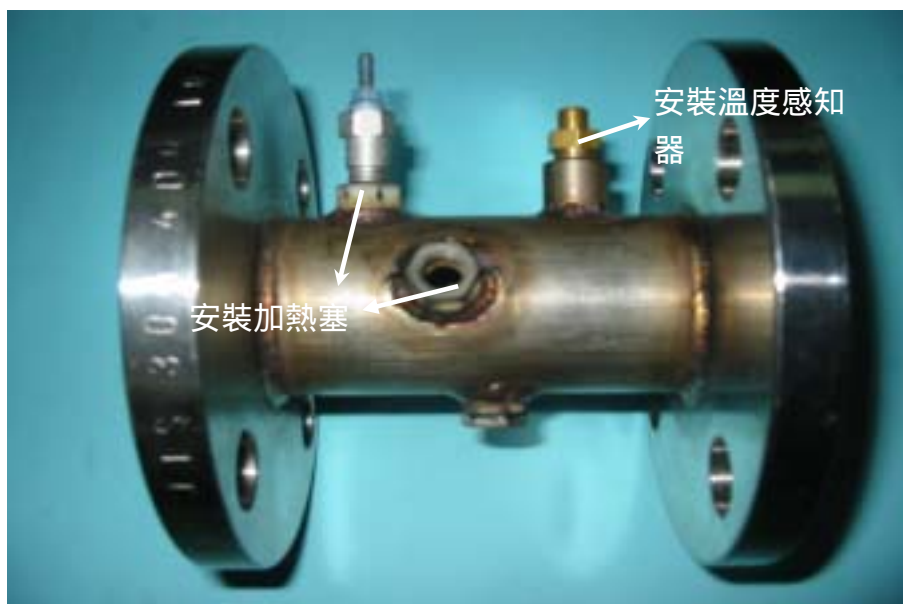


圖 6-2 燃料汽化室加工

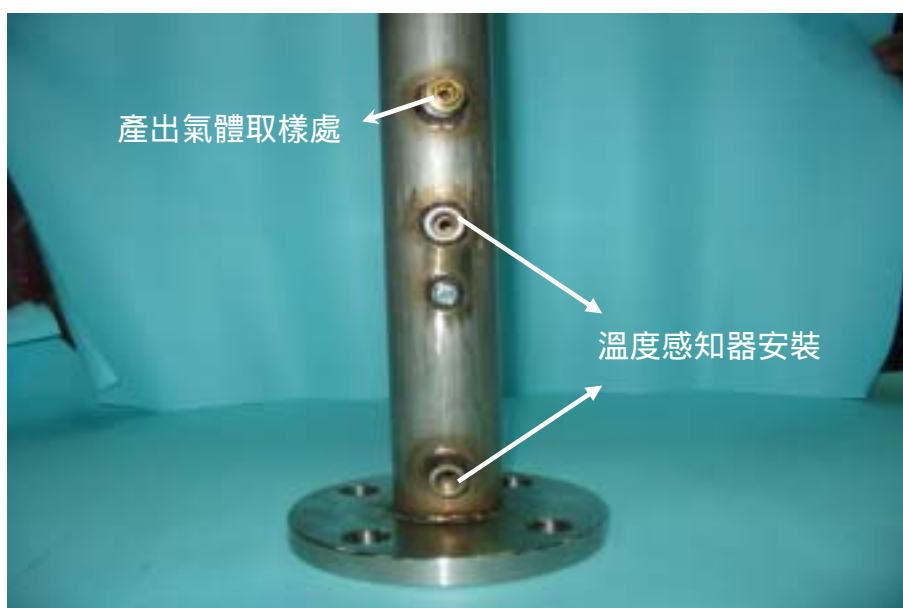


圖 6-3 觸媒反應段加工



圖 6-4 將重組器本體安裝至架上

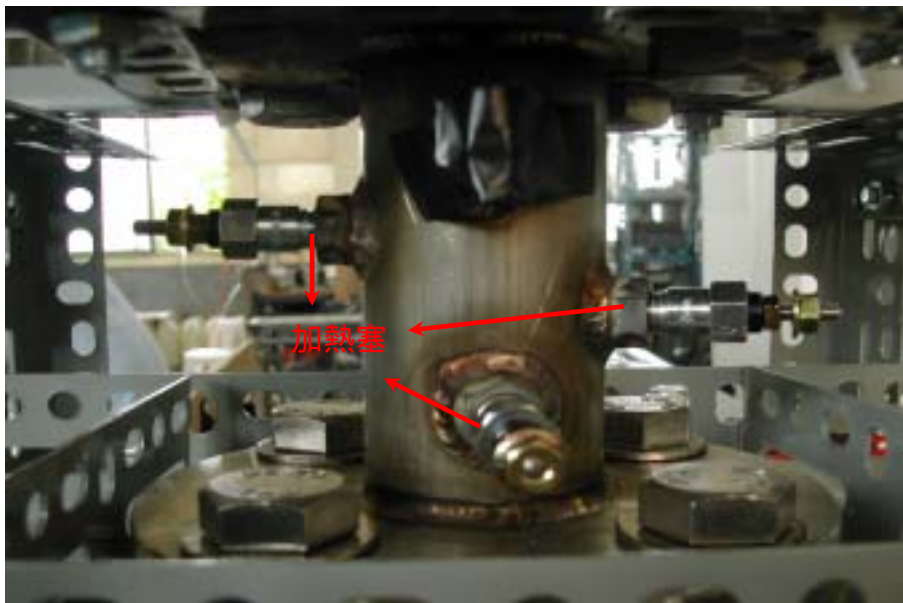


圖 6-5 安裝加熱塞至重組器上



圖 6-6 電源供應器裝配



圖 6-7 電壓、電流錶安裝加工



圖 6-8 電壓電流錶配線



圖 6-9 加熱塞電路配線



圖 6-10 燃料泵裝配



圖 6-11 燃料噴嘴



圖 6-12 甲醇流量計裝設



圖 6-13 調壓過濾器裝設



圖 6-14 設備完成圖

參考文獻

- <1>. 陳泓政，燃料電池用之甲醇重組器氫氣產生研究，國立成功大學航空太空工程系碩士論文，2002年6月。
- <2>. 崑山科技大學，洪榮芳、周煥銘、詹前歆、邱韋丞、施宏杰、鐘金良、侯嘉福，小型重組器冷起動過程之暫態特性研究，中華民國燃燒學會第十四屆。
- <3>. 『2003年燃料電池產學研發成果研討會』，民國92年，pp142~145。
- <4>. 鄭煜騰、鄭耀宗，質子交換模型燃料電池的製造技術，能源季刊，民國86年6月，第27卷，第二期，PP118~128。
- <5>. 鄭耀宗、萬瑞雲，質子交換模型燃料電池的進展分析，能源季刊，第28卷。
- <6>. 鄭煜騰，燃料電池用甲醇重組器設計要點及新發展，能源季刊，第二十三卷，第三期，pp.107~114，82年7月。
- <7>. 宋隆裕，燃料電池用甲醇重組器之測試研究，能源季刊，第二十四卷，第一期，pp.69~88，83年1月。
- <8>. 宋隆裕，燃料電池用甲烷水蒸汽重組反應之測試與分析，能源季刊，第二十四卷，第三期，pp.96~116，83年7月。

<9>. 許寧逸 顏溪成,由碳能朝向氫能源的燃料電池,科學發展,2003
年7月 367期。

<10>.Park, G. G., Seo, D. J., Park, S. H., Yoon, Y. G., Kim,
C. S., Yoon, W. L., “ Development of microchannel methanol
steam reformer, ” Chemical Engineering Journal , Vol. 101,
pp. 87-92, 2004.