

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

蓄熱式觸媒轉化器於機車引擎冷車起動的轉化特性研究

(2/2)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2212-E-168-001-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：崑山科技大學機械工程系

計畫主持人：洪榮芳

計畫參與人員：何柏村 許晉嘉 洪偉峻 李鑿恭 蕭光宏 呂政義

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢

中 華 民 國 94 年 10 月 18 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫

成果報告  
 期中進度報告

蓄熱式觸媒轉化器於機車引擎冷車起動的轉化特性研究(2/2)

The catalyst with heat storing material on the emissions of  
motorcycle engine under cold-start conditions (2/2)

計畫類別： 個別型計畫  整合型計畫

計畫編號：NSC 93-2212-E-168-001

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

計畫主持人：洪榮芳

計畫參與人員：何柏村 許晉嘉 洪偉峻 李鑒恭 蕭光宏 呂政義

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告  完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：崑山科技大學

中華民國 94 年 09 月 10 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告  
蓄熱式觸媒轉化器於機車引擎冷車起動的轉化特性研究(2/2)  
The catalyst with heat storing material on the emissions of  
motorcycle engine under cold-start conditions (2/2)

計畫編號：NSC 93-2212-E-168-001

執行期限：93年8月1日至94年7月31日

主持人：洪榮芳 崑山科技大學機械工程系

計畫參與人員：何柏村 許晉嘉 洪偉峻 李鑒恭 蕭光宏 呂政義  
崑山科技大學機械工程系

### 摘要

引擎於冷起動期間，排氣管中的觸媒均處於低溫狀態，致使觸媒無法反應，造成冷起動期間引擎嚴重的污染排放。故於冷起動期間預熱觸媒，使觸媒提前達反應溫度，為改善引擎冷起動污染的有效方法之一。本計畫以蓄熱式觸媒轉化器應用於四行程機車引擎，探討蓄熱材料長度、加熱位置、加熱溫度及加熱能量等，對於觸媒轉化器於冷車起動過程轉化效果的特性。由實驗結果得知，配合較短的蓄熱材料及較高的 CO 設定值，於觸媒入口處加熱者，可獲得較佳的 CO 轉化效率；較長的蓄熱材料及較低的 CO 設定值，無論在何處加熱，均無法獲得較佳的轉化效果。另外，由機車引擎添加富氫氣體的研究可知，在怠速期間，富氫氣體的添加量必須配合進氣氧氣的供給，若富氫氣體添加太多，致使進氣中氧氣不足，則會導致污染排放的上升。在定速行車期間，隨著富氫氣體添加量的增加，可獲得較佳的省油效果，最佳的提升率約可達 33% 左右。

關鍵字：冷車起動、觸媒轉化器、蓄熱材料、富氫氣體、省油效果

### Abstract

Both of engine and catalyst are in the low temperature condition during cold start. Severe exhaust emissions are caused by poor conversion of unburnt gases during this stage. Pre-heating the catalyst is one of the promising ways to improve the exhaust emissions of the engine during cold start. An electrically heated catalyst with heat storing material was adopted for reducing the emissions in this study. The length of heat storing material, heating position, heating temperature and heating energy on the conversion characteristics were investigated. The results showed that heating at the entrance of catalyst with the combination of shorter heat storing material and higher CO setting level, hence, better CO conversion was obtained. On the contrary, poor CO conversion was obtained with the longer heat storing material and lower CO setting level. Besides, it could be found some results from the addition of hydrogen-rich gas fueled engine tests. In the idle operation, if the hydrogen-rich gas was over-supplied, the severe exhaust emissions were obtained due to rich mixture preparation. In the cruising speed driving tests, better fuel economy could be obtained as more hydrogen-rich gas was supplied. The best improvement of fuel economy was 33%, approximately.

Keywords: Cold start, catalytic converter, heat storing material, hydrogen-rich gas, fuel economy

## 目 錄

封面.....	I
摘要.....	II
目錄.....	III
圖目錄.....	IV
表目錄.....	V
一、緣由與目的.....	1
二、研究方法及步驟 .....	2
三、結果與討論.....	2
四、結論及成果自評.....	4
五、參考文獻.....	5

## 圖目錄

圖 1	蓄熱式觸媒轉化器加熱及溫度量測位置.....	7
圖 2	富氫氣體添加燃料引擎實驗配置圖.....	7
圖 3	觸媒出口排氣溫度與 CO 轉化效率的關係比較(加熱位置：A+B，加熱溫度：100°C，CO=1.3%).....	8
圖 4	觸媒出口排氣溫度與 CO 轉化效率的關係比較(加熱位置：A+B，加熱溫度：100°C，CO=1.8%).....	8
圖 5	觸媒出口排氣溫度與 CO 轉化效率的關係比較(加熱位置：A+B，加熱溫度：180°C，CO=1.8%).....	9
圖 6	觸媒出口排氣溫度與 CO 轉化效率的關係比較(蓄熱材料長度：30cm，加熱溫度：180°C，CO=1.3%).....	9
圖 7	觸媒出口排氣溫度與 CO 轉化效率的關係比較(蓄熱材料長度：30cm，加熱溫度：220°C，CO=1.3%).....	10
圖 8	觸媒出口排氣溫度與 CO 轉化效率的關係比較(蓄熱材料長度：30cm，加熱溫度：180°C，CO=1.8%).....	10
圖 9	汽油添加不同百分比富氫氣體之怠速運轉的 CO 污染排放.....	11
圖 10	汽油添加不同百分比富氫氣體之怠速運轉的 HC 污染排放.....	11
圖 11	汽油添加不同百分比富氫氣體之怠速運轉的 O <sub>2</sub> 排放.....	12
圖 12	汽油添加 0.5 l/min 富氫氣體流率之定速 30-50km/h 行車的 CO 污染排放	13
圖 13	汽油添加 0.5 l/min 富氫氣體流率之定速 30-50km/h 行車的 HC 污染排放	13
圖 14	汽油添加 2.3 l/min 富氫氣體流率之定速 30-50km/h 行車的 CO 污染排放	14
圖 15	汽油添加 2.3 l/min 富氫氣體流率之定速 30-50km/h 行車的 HC 污染排放	14
圖 16	汽油添加 4.6 l/min 富氫氣體流率之定速 30-50km/h 行車的 CO 污染排放	15
圖 17	汽油添加 4.6 l/min 富氫氣體流率之定速 30-50km/h 行車的 HC 污染排放	15

## 表 目 錄

表 1	引擎規格.....	16
表 2	汽油與添加富氫氣體燃料的行駛里程比較.....	17

## 一、緣由與目的

在冷車起動期間，引擎本體及觸媒轉化器都尚未達正常工作溫度，極易因燃料揮發不良與油氣混合不佳而造成燃燒不完全或觸媒轉化器尚未產生作用，而導致嚴重的污染排放。我國自 2004 年起，即針對機車採冷起動的污染法規，檢測方法及污染排放值更為嚴格，故有必要建立這方面的技術。在國內杜啟綸等人[1] 曾針對機車引擎在冷起動之後的情轉狀況及 ECE-40 行車型態的污染排放進行研究。洪榮芳等人[2]則針對二、四行程機車引擎暫態過程，包括冷車起動、加速及減速等暫態過程的排氣特性及改善方法進行初步探討。洪榮芳等人[3-7]以配備有電熱式觸媒轉化器的四行程機車引擎為載具，進行冷起動過程污染排放特性研究，發現冷起動期間觸媒預熱，以較高的 CO 排氣濃度的設定值，可使觸媒快速達反應溫度，引擎的污染排放可獲得明顯的改善。

在國外部分，Boam 等人[8]針對汽車引擎冷起動及暖車過程中碳氫化合物的來源進行探討。Kirchner 等人[9]則發展出一套數學模式來研究觸媒轉化器的冷車啟動特性，在計算結果中提供了相關的幾何尺寸及加熱的控制策略，以獲得最佳結果。Umehara 等人[10]則探討冷車起動期間，以點火角度的延遲使排氣溫度升高，藉以使未燃氣在排氣管中再反應，以降低排氣污染。Ludykar 等人[11]則分別在環境溫度 22°C、-7°C 及 -20°C 等狀況下，探討三元觸媒轉化器汽車的冷起動污染排放特性；Joumard 等人[12]以小引擎探討多種行車型態(Driving patterns)對於冷車與熱車污染排放的影響。Lafyatis 等人[13]則進行使冷車快速升溫方法的研究，他們所採用的方法是提高排氣中 CO 的排放濃度，以 CO 的氧化放熱來協助排氣溫度快速提升。Bissett 等人[14]亦建立一套電腦模式，來模擬加熱式的觸媒轉化器，結果發現在各種設計尺寸下均有其最佳的加熱器設計尺寸。Sendil velan 等人[15]則以電熱式觸媒轉化器進行研究，發現 CO 及 HC 均可獲得明顯的改善。

因為氫氣燃料具有極低的點火需求能量、寬廣的點火極限(Ignition Limit)及快速的火焰傳播速率[16]，於傳統的內燃機引擎導入富氫氣體，將可使引擎達到稀油燃燒效果，熱效率獲得改善之後，引擎的污染排放因而可有效降低[17]。故以氫氣為引擎燃料的研究於最僅幾年有逐漸增佳的趨勢。Yi [18]及 Jorach [19] 等人以氫燃料缸內噴射的方式進行研究，與汽道噴射式作比較，缸內噴射式的優點在於不會有回火的危險，而糗容積效率較高，但缺點則為 NOx 排放會較高，Jorach 等人則採高過剩空氣比的方式來降低 NOx 的排放。Blarigan 等人[20]將氫氣燃料應用於壓縮比為 14 的火花點燃式引擎上，發覺以體積百分比為 30% 氫氣加上 70% 的天然氣(Natural Gas)，在無須排氣後處理的情況下，幾乎可達到零污染排放。Guo 等人[21]以電磁控制式噴嘴將氫氣直接噴入汽缸進行燃燒特性研究，經研究發現可有效防止不正常燃燒現象的發生，如回火(Backfire)、預燃(Pre-ignition)、過高的壓力上升率及爆震(Knock)等。Haroun Abdul-Kadim Shahad Al-Janabi 等人[22]以數學模式探討氫氣—汽油混合物的燃燒特性，發現 8% 氫氣質量百分比之下可獲得最佳的熱效率，質量百分比 10% 之下 CO 排放可獲得 73.8% 的改善，但 NOx 的上生卻達 100%，在質量百分比 10% 時，燃油消耗比量(Specific Fuel Consumption, SFC)可獲得改善。Shudo 等人[23]以氫氣為燃料，與甲烷燃料作比較，量測汽缸壓力、溫度，探討燃燒特性，發現以氫氣為燃料的熱傳損失大於甲烷者，而且氫氣較寬的可燃極限導致氫氣較佳熱效率出現在較稀的混合氣狀況。Yamin 等人[24]發展出一套數學模式來探討氫燃料引擎的燃燒特性，探討多項引擎參數與燃燒時間(Combustion Duration)、引擎性能及污染排放的關係。Maher Abdul-Resul Sadiq Al-Baghdadi 等人[25]以氫氣及乙醇為汽油的添加劑，以數學模式加以模擬分析，獲得以 4% 氫氣及 30% 乙醇添加在汽油中，可獲得 49% CO、39% NOx、49% 燃油消耗比量及 4-5% 的熱效率與功率輸出的提升。Yi 等人[26]針對氫氣燃料引擎，分別以汽道噴射與缸內直噴實驗比較，發現氣道噴射可獲得低負載時較佳的熱效率，缸內直噴則在可獲得較穩定的高負載特性，故最佳的引擎操作方式即分別採用此兩種噴射方式，以獲得及佳的引擎操作特性。Das 等人[27]以氫氣及天然氣(CNG)為引擎的替代

燃料，分別探討其引擎性能及燃燒特性，經實驗結果，氫氣可獲得 31.19% 的制動熱效率，CNG 則可獲得 27.59% 的制動熱效率。Maher Abdul-Resul Sadiq Al-Baghdadi 等人[28]以氫氣及乙醇為汽油添加劑進行研究，發現氫氣燃料引擎添加乙醇最大的好處在於改善 NOx 的排放，研究結果並提出使 NOx 不增加的最少乙醇添加量的關係曲線，也指出可獲得低 NOx 及 CO 的安全操作區域。Maher Abdul-Resul Sadiq Al-Baghdadi [29]則以氫氣為乙醇燃料引擎的添加劑行探討，結果發現乙醇加上氫氣的引擎，在燃燒效率、馬力、油耗及污染方面均可獲得進一步改善。D'Andrea 等人[30]以 3.7% 質量百分比的氫氣為汽油引擎的添加燃料，進行實驗測試，並量測其汽缸壓力，分析其指示均效壓力及質量燃燒率。發現在添加氫氣燃料之後，引擎在稀油混合氣的狀況下，具有較短的燃燒時間及較低的循環變異(Cycle-to-Cycle Variation)。

本研究於電熱式觸媒轉化器加熱器週圍裝置適當的蓄熱材料，改變加熱裝置的蓄熱效果，亦即以蓄熱材料將加熱器預熱提供的熱量儲蓄起來，待電熱器電源切斷之後此熱量釋放出來，維持觸媒的持續反應，改善觸媒的轉化效果。另外亦以富氫氣體為引擎燃料添加劑進行研究，探討引擎油耗、污染排放等，以改善機車引擎油耗及污染排放。

## 二、研究方法及步驟

本研究的實驗載具為 150 c.c. 四行程機車引擎，引擎規格如表 1 所示。觸媒轉化器尺寸為直徑 48.6 mm、長 60 mm，觸媒成分鉑與銻比例為 5 比 1。本研究針對原觸媒做修改設計，於觸媒轉化器進口及中段加上蓄熱材料，以儲蓄熱量，並緩和觸媒溫度的上升速率。

本實驗參數分別為，蓄熱材料長度、加熱溫度、加熱位置及 CO 設定值等。加熱塞分別安裝於排氣管中觸媒轉化器入口(A+B)及中段處(C+D) (如圖 1 所示)。加熱電源來自 12VDC 電瓶，每支加熱塞的加熱功率為 120W。並於觸媒轉化器進口、中段及出口處，分別安裝熱電偶量測觸媒反應前後的排氣溫度。裝於觸媒出口氣流中的熱電偶，將排氣溫度回授給溫度控制器以控制加熱塞的作動，觸媒出口排氣溫度達到設定值之後即停止通電加熱。每次實驗於引擎起動前 20 秒啟動數據擷取系統，開始記錄引擎的運轉狀況，包括溫度及污染排放等資料，經過約 800 秒之後停止記錄。此即完成一次引擎冷車起動的測試程序。所有實驗均於冷車起動狀況下進行測試，冷車測試每次的實驗必須間隔六小時以上，待引擎各部位溫度均回到室溫之後才可再進行另一次的冷車測試。

富氫氣體添加燃料之實驗，除了怠速之外，亦分別以 30km/h、40km/h 及 50km/h 等定速行駛，探討機車引擎以原供油系統添加不同比例的富氫氣體之後，其定速行車之油耗及污染等特性 (如圖 2 所示)。怠速運轉為冷起動測試，定速行駛則為熱車測試。富氫氣體成份為  $H_2=34.9\%$ 、 $CO=4.6\%$ 、 $CO_2=3.8\%$ 、 $N_2=56.7\%$ 。

## 三、結果與討論

圖 3~圖 4 所示為加熱位置 A+B，加熱溫度  $100^{\circ}C$ ，CO 設定值 1.3% 及 1.8%，蓄熱材料長度分別為 30cm 與 60cm 等條件下，觸媒出口溫度與 CO 轉化效率的關係比較。由圖中可知，蓄熱材料長度為 30cm 者，溫度的上升速率高於 60cm 者。此即蓄熱材料長度為 30cm 者蓄熱較少，故溫度上升較快；蓄熱材料長度為 60cm 者蓄熱較多，溫度上升則明顯緩慢。另由此兩圖的比較可知，CO 設定值為 1.3% 者，如圖 3 所示，觸媒出口排氣溫度最高約在  $130^{\circ}C$ - $150^{\circ}C$  之間，觸媒無法維持在反應溫度之上，故 CO 的轉化效率不高；CO 設定值為 1.8% 者，如圖 4 所示，由於排氣中具有較濃的未燃氣，這些未燃氣氧化提供較多的熱量，從冷起動開始，觸媒出口排氣溫度均能持續上升，並可維持在  $200^{\circ}C$  以上，無須作二次加熱，故可在冷起動之後第 300 秒即可維持在 60% 以上的 CO 轉化效率，最終甚至可達 90% 以上的轉化效率。

圖 5 所示為加熱溫度  $180^{\circ}C$ ，CO 設定濃度為 1.8%，蓄熱材料長度為 30cm 及 60cm，加熱位置為 A+B 的條件下，觸媒出口溫度與 CO 轉化效率的比較。由圖中可知，蓄熱材料長度



30cm 者，從冷起動開始即有較快的溫升，當然也有較快的 CO 轉化特性，60cm 者雖然反應較慢，但在 1.8% 的 CO 設定值，配合 180°C 的加熱溫度下，均有相當好的轉化效率，在第 300 之後，兩者均可維持在 80% 以上的 CO 轉化效率。

圖 6 為 CO 設定值 1.3%，蓄熱材料長度為 30cm，加熱溫度為 180°C 下，不同加熱位置，A+B 及 C+D，對於排氣出口溫度及 CO 轉化效率的影響比較。圖中可知，在 CO 設定值為 1.3% 的情況下，即使加熱達 180°C，加熱位置 C+D 者雖然快速到達加熱溫度，但在加熱電源切掉之後，排氣溫度即迅速下降，此即表示觸媒仍無法達到反應狀態，所以此時的 CO 轉化效率相當低。當溫度下降至低於設定加熱溫度，即又起動加熱器電源，排氣溫度再度升高，CO 轉化效率也隨之提高，但在達設定加熱溫度切斷加熱器電源之後，CO 轉化效率又快速下降至無反應的狀態，如此來回加熱之後觸媒仍無法達到自行反應的狀態。加熱位置為 A+B 的情況則大為不同，由於加熱器置於觸媒入口處，觸媒擔體吸熱體積範圍較大，故溫度上升速率較慢，加熱時間較長，加熱器提供給觸媒的熱量也較多，故無須作第二次加熱，觸媒即達自行反應的狀態，但由於較低的 CO 設定值，提供較少的排氣反應熱，故於 490 秒之後才達到 80% 以上的 CO 轉化效率。再看圖 7 所示，與圖 6 具有相同的 CO 設定值及蓄熱材料長度為 30cm，加熱溫度提升至 220°C 作比較。由圖中可以發現加熱位置 A+B 者，除了因為加熱溫度的提升使溫度上升及 CO 的轉化效率延後趨緩之外，其趨勢與前者相近。但反觀加熱位置為 C+D 者，於第三次加熱之後溫度才趨於穩定，而且 CO 轉化效率於第 450 秒之前均隨著溫度的高低而呈現高低起伏的變化，轉化效率也相當低。由此可見，於較低 CO 設定值的情況下，排氣中未燃氣濃度較低，在經過觸媒催化反應之後氧化放熱較少，故於加熱器電源切斷之後其反應熱仍難以使觸媒維持在自行反應溫度之上。

圖 8 所示為加熱位置 C+D，CO 設定值 1.8%，蓄熱材料長度為 30cm，加熱溫度為 180°C，加熱位置分別為 A+B 及 C+D 的情況下，觸媒排氣溫度及 CO 轉化效率的影響比較。由此圖中可知，加熱位置為 A+B 者，無須作第二次加熱，觸媒出口溫度及 CO 轉化效率均呈現穩定上升的趨勢，並於第 350 附近即達到 90% 以上的穩定轉化效率。加熱位置為 C+D 者，於冷起動加熱至加熱器電源切斷之後，溫度曾下降至設定加熱溫度以下，轉化效率亦隨之下降，仍須於第二次加熱之後，觸媒出口排氣溫度才穩定上升至 220°C 以上，CO 轉化效率於第 540 秒之後達到 90% 以上的穩定轉化效率。

由以上的討論可知，A+B 加熱者，溫度上升較慢，加熱能量較多，可獲得較佳的 CO 轉化效率。C+D 加熱者，溫度上升較快，輸入能量較少，較難獲得較佳的 CO 轉化效率。另外，不論 A+B 或 C+D 加熱者，以較長(60cm)的蓄熱材料及較低(1.3%)的 CO 設定值，加熱溫度在 140°C 以上，加熱能量的增加也很難獲得好的 CO 轉化效率。

接著探討機車引擎添加富氫氣體怠速及定速行車的油耗及污染排放特性。圖 9-圖 10 分別為添加不同氫氣流率的 CO 及 HC 的污染排放特性。首先，由圖 9 可知，在怠速運轉中，原供油系統未修改的情況下，因為富氫氣體中 H<sub>2</sub> 為 34.9%、CO 為 4.6%、CO<sub>2</sub> 為 3.8%、N<sub>2</sub> 亦高達 56.7%，故富氫氣體的導入，佔據空氣進氣的容積，將使進入引擎的混合氣更加富油(Rich Mixture)，故 CO 的污染排放隨著富氫氣體的增加而提高，氫氣添加百分比達 4.6% 時，甚至 CO 已高達 3.7% 左右。另外由圖中可知，純粹使用富氫氣體為燃料者，從冷起動開始即可獲得相當低的 CO 污染排放，但此供油系統的動作將會變得較為複雜，於噴油系統車輛改變控制策略達成此目標並不困難，但原為化油器供油系統的引擎須進一步修改設計才可以。再看圖 10 所示 HC 的排放，由圖可知，在冷起動初期，氫氣添加百分比為 2.3% 及 4.6% 者的 HC 均有突然竄升再下降的趨勢，經過約 150 秒之後排放濃度亦分別在 250ppm 及 300ppm 以上，其原因仍為富氫氣體使混合氣過濃導致燃燒不完全所致。其他氫氣添加百分比在 1.0% 以下者的 HC 則都在 300ppm 以下，在冷起動穩定之後三者差異亦不大。所以若要在原系統導入富氫氣體，供油系統應該再加以修改才可。

再對照圖 11 所示的 O<sub>2</sub> 排放濃度可知，以汽油為燃料及添加 0.5% H<sub>2</sub> 者的 O<sub>2</sub> 濃度最高，1.0% 及 2.3% 者次之，4.6% 者則為最低，大致上均低達 6% 以下，此即表示富氫氣體的添加百分比的升高，致使 O<sub>2</sub> 濃度的降低，而導致燃燒不完全所致。

接著，圖 12-圖 17 所示為添加富氫氣體體積流率在 0.5 l/min、2.3 l/min 及 4.6 l/min，機車運轉狀況分別為怠速、定速 30km/h、定速 40km/h 及定速 50km/h 狀況下的 CO 及 HC 的污染排放，由圖 13-14 可知，從冷起動開始的怠速運轉，CO 上升到 4.0%、HC 上升到 600ppm 之後，隨即分別下降至約 1.8%-2.0% 之間，HC 則降至約 250ppm 以下。之後於第 400 秒車速提升至 30km/h 之後，在加速期間達定速之後，CO 有突然升高的現象，那是因為由加速達定速時，突然將油門關小，進入燃燒室的空氣突然減少而使 CO 濃度突升所致，時間非常短暫，但如果油門控制不佳，經常作開、關動作，則 CO 與 HC 的污染排放會相當嚴重；車速由 30km/h 突然放掉油門使車速達怠速期間，CO 及 HC 均突然升高，其他 40km/h 及 50km/h 在突然放掉油門時亦有類似的現象，此即如前面所提到的，油門突然關小使混合氣過濃所致。另外，由圖中可知，機車行經約第 950 秒之後，CO 已降到約 0.1% 以下，HC 亦在 100ppm 以下，此即表示此時觸媒轉化器已經達到反應的狀況。圖 14-15 所示氫氣添加百分比為 2.3% 者，由圖中可知，從冷起動開始的怠速運轉，CO 上升到 5.0%、HC 上升高達 1000ppm，之後分別下降至約 2.7%，HC 則降至約 280ppm 附近振盪。隨後的發展即與前述圖 12-圖 13 所示者類似，亦即在突然減速期間，CO 及 HC 均有突然升高的現象，而且於定速 30km/h 行駛超過 300 秒之後，觸媒即達反應溫度。接著，圖 16-17 所示為 4.6% 氫氣添加百分比者，由圖中可知，從冷起動開始的怠速運轉，CO 上升亦高達 5.0%、HC 則高達 1000ppm 以上，之後分別下降至約 3.8% 及 300ppm 附近。隨後的發展亦與前述所示者類似，亦即在突然減速期間，CO 及 HC 均突然升高的現象。另外，由於排氣中未燃氣(CO 及 HC)濃度太高的緣故，進入定速 30km/h 行駛之後，觸媒即達反應溫度。

表 1 所示為汽油及氫氣添加流率分別為 0.5 l/min、1.0 l/min、2.3 l/min 及 4.6 l/min 等情況下，消耗掉相當於每公升汽油發熱量的行車里程比較。由表中所示，以汽油為燃料者的行車旅程與氫氣添加流率為 0.5l/min 者相當接近，隨著氫氣添加量的增加，每 33000kJ（相當於每公升汽油的發熱量）的行車旅程有隨之升高的趨勢。以目前添加 4.6 l/min 氫氣者最為省油，雖然此部車車齡已超過 10 年，仍可得到 47.43 km/h 的油耗，往後系統若再改進，將可再提高富氫氣體供應率，以獲得更佳的省油效果。

由上述添加富氫氣體的實驗可知，在怠速期間，富氫氣體的添加量必須配合進氣氧氣的供給，因為引擎於怠速運轉時節氣門開度很小，進氣量相當少，若富氫氣體添加太多，很容易造成進氣中氧氣不足，因為稍不完全而導致污染排放的上升。然在定速行車期間，隨著富氫氣體添加量的增加，可獲得較佳的省油效果，最佳的提升率約可達 33% 左右。所以為使潔淨能源使用於傳統汽機車引擎，值得於往後繼續投入更多的心力於這方面的研究，不但可達到省油效果，亦可有效降低污染排放。

#### 四、結論及成果自評

由以上實驗結果的分析可獲得以下結論：A+B 加熱者，溫度上升較慢，輸入的加熱能量較多，可獲得較佳的 CO 轉化效率；C+D 加熱者，溫度上升較快，但輸入能量較少，難以獲得較佳的 CO 轉化效率。其中以加熱位置 A+B，配合 30cm 的蓄熱材料及 1.8% 的 CO 設定值，可獲得最佳的 CO 轉化效率。另外，不論 A+B 或 C+D 加熱者，60cm 的蓄熱材料及 1.3% 的 CO 設定值，加熱溫度在 140°C 以上，加熱能量的增加也很難獲得好的 CO 轉化效率。另外，由機車引擎添加富氫氣體的實驗可知，在怠速期間，富氫氣體的添加量必須配合進氣氧氣的供給，若富氫氣體添加太多，致使進氣中氧氣不足，則會導致污染排放的上升。在定速行車期間，隨著富氫氣體添加量的增加，可獲得較佳的省油效果，最佳的提升率約可達 33% 左右。

為使潔淨能源使用於傳統汽機車引擎，值得於往後繼續投入更多心力於這方面的研究，不但可獲得省油效果，亦可有效降低污染排放。

在整體成果方面均已達成計畫所訂目標，並分別於國內及國外期刊各發表一篇文章 [31-32]。

## 五、參考文獻

1. 杜啟綸，盧昭暉，王美文，莊訓城，吳盛忠，陳雄文，機車冷起動對污染排放之影響。高雄市，第六屆海峽兩岸環境保護研討會， pp.802-807，88年。
2. 洪榮芳，周煥銘，陳俊維，黃仁昭，陳靖杰，徐振雄，吳建發，機車引擎暫態過程污染排放研究，第十六屆技職研討會，花蓮市，pp.229-238，90年4月。
3. 洪榮芳，周煥銘，王國佑，周文河，蔡震華，陳健民，李宗龍，觸媒轉化器對於機車引擎冷起動污染改善之研究，第六屆車輛工程學術研討會，桃園縣，pp.129-135，90年10月。
4. 洪榮芳，周煥銘，蔡震華，陳健民，周文河，王國佑，李宗龍，電熱式觸媒轉化器於四行程機車引擎冷車怠速之溫度及污染特性研究，2002 中華民國燃燒學會/民航學會/航太學會學術聯合會議論文集，高雄市，pp. 49-56，91年3月。
5. 洪榮芳，周煥銘，許天秋，林智鉉，江松桓，楊宗陵，黃永嘉，吳銘仲，林億銘，預熱式觸媒轉化器於四行程機車引擎冷起動污染排放影響研究，中國機械工程學會第十九屆學術研討會論文集，雲林縣，pp. 393-400，2002年11月29-30日。
6. R.F. Horng and H.M. Chou, Transient Behaviour of an Electrically Heated Catalytic Converter on a Motorcycle Engine in Cold-Start Conditions, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, Vol. 217, pp. 183-191, 2003.
7. R.F. Horng, H.M. Chou and T.C. Hsu, Reaction of the Electrically Heated Catalyst of a Four-Stroke Motorcycle Engine under Cold-Start Condition with Additional Enrichment of the Intake Mixture, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, Vol. 217, pp.1117-1124, 2003.
8. D.J. Boam, I.C. Finlay, T.W. Bilddulph, T.A. Ma, R. Lee, S.H. Richardson, J. Bloomfield, J.A. Green, S. Wallace, W.A. Woods and P. Brown, The sources of unburnt hydrocarbon emissions from spark ignition engines during cold starts and warm-up. *Proc. Instn. Mech. Engrs., Part D: Journal of Automobile Engineering*. Vol. 208, pp. 1-11, 1994.
9. T. Kirchner and G. Eigenberger, Optimization of the Cold-Start Behavior of Automotive Catalysts Using an Electrically Heated Pre-catalyst, *Chemical Engineering Science*, Vol. 51, No. 10, pp. 2409-2418, 1996.
10. K. Umehara, T. Tateishi, H. Nishimura and M. Misumi, HC reduction system for cold start and warm-up phases-Improvement of catalyst warm-up by retarded ignition. *JSAE Review (Technical Notes)*, Vol.18, pp. 67-68, 1997.
11. D. Ludykar, R. Westerholm and J. Almen, Cold start emissions at +22, -7 and -20°C ambient temperatures from a three-way catalyst (TWC) car: regulated and unregulated exhaust components, *the Science of the Total Environment*, Vol. 235, pp.65-69, 1999.
12. R. Joumard, M. Andre, R. Vidon, P. Tassel and C. Pruvost, Influence of Driving Cycles on Unit Emissions from Passenger Cars, *Atmospheric Environment*, Vol.34, pp.4621-4628, 2000.
13. D.S. Lafyatis, G.P. Ansell, S.T. Bennett, J.C. Frost, P.J. Millington, R.R. Rajaram, A.P. Walker and T.H. Ballinger, Ambient Temperature Light-off for Automotive Emission Control, *Applied Catalysis B: Environmental* Vol. 18, pp.123-135, 1998.
14. E.J. Bissett and S.H. Oh, Electric Heated Converters for Automotive Emission Control: Determination of the Best Size Regime for the Heated Element, *Chemical Engineering Science*, Vol. 54, pp. 3957-3966, 1999.

15. S. Sendil velan, K. Jeyachandran and K. Bhaskar, Experimental Investigation of Emission Control from Spark-Ignition Engine Using Electrically Heated Catalyst. SAE Technical paper, 2001-01-2000(SP-1631), 2001.
16. L.M. Das, Hydrogen-Oxygen Reaction Mechanism and Its Implication to Hydrogen Engine Combustion, *Int. J. Hydrogen Energy*, 21(8), pp. 703-715, 1996.
17. L.M. Das, Hydrogen engines: A view of the past and a look into the future. *Int. J. Hydrogen Energy*, 15(6), 425, 1990.
18. H.S. Yi, S.J. Lee and E.S. Kim, Performance Evaluation and Emission Characteristics of In-Cylinder Type Hydrogen Fuelled Engine, *Int. J. Hydrogen Energy*, 21(7), pp. 617-624, 1996.
19. R. Jorach, C. Enderle and R. Decker, Development of a Low-NOx Truck Hydrogen Engine with High Specific Power Output, *Int. J. Hydrogen Energy*, 22(4), pp. 423-427, 1997.
20. P. Van Blarigan and J.O. Keller, A Hydrogen Fuelled Internal Combustion Engine Designed for Single Speed/Power Operation, *Int. J. Hydrogen Energy*, 23(7), pp. 603-609, 1998.
21. L.S. Guo, H.B. Lu and J.D. Li, A Hydrogen Injection System with Solenoid Valves for a Four-Cylinder Hydrogen-Fuelled Engine, *Int. J. Hydrogen Energy*, 24, pp. 377-382, 1999.
22. Haroun Abdul-Kadim Shahad Al-Janabi and Maher Abdul-Resul Sadiq Al-Baghdadi, A prediction Study of the Effect of Hydrogen Emission of a Four Stroke Spark Ignition Engine, *Int. J. Hydrogen Energy*, 24, pp. 363-375, 1999.
23. T. Shudo, Y. Nakajima and T. Futakuchi, Thermal Efficiency Analysis in a Hydrogen Premixed Combustion Engine, *JSAE Review*, 21, pp. 177-182, 2000.
24. Jehad A.A. Yamin, H.N. Gupta, B.B. Bansal and O.N. Srivastava, Effect of Combustion Duration on the Performance and Emission Characteristics of a Spark Ignition Engine Using Hydrogen as a Fuel, *Int. J. Hydrogen Energy*, 25, pp. 581-589, 2000.
25. Maher Abdul-Resul Sadiq Al-Baghdadi and Haroun Abdul-Kadim Shahad Al-Janabi, Improvement of Performance and Reduction of Pollutant Emission of a Four Stroke Spark Ignition Engine Fuelled with Hydrogen-Gasoline Fuel Mixture, *Energy Conversion and Management*, 41, pp. 77-91, 2000.
26. H.S. Yi, K.Min and E.S. Kim, The Optimised Mixture Formation for Hydrogen Fuelled Engines, *Int. J. Hydrogen Energy*, 25, pp. 685-690, 2000.
27. L.M. Das, Rohit Gulati and P.K. Gupta, A Comparative Evaluation of the Performance Characteristics of a Spark Ignition Engine Using Hydrogen and Compressed Natural Gas as Alternative Fuels, *Int. J. Hydrogen Energy*, 25, pp. 783-793, 2000.
28. Maher Abdul-Resul Sadiq Al-Baghdadi, The Safe Operation Zone of the Spark Ignition Engine Working with Dual Renewable Supplemented Fuels (Hydrogen+Ethyl Alcohol), *Renewable Energy*, 22, pp. 579-583, 2001.
29. Maher Abdul-Resul Sadiq Al-Baghdadi, A Study on the Hydrogen-Ethyl Alcohol Dual Fuel Spark Ignition Engine, *Energy Conversion and Management*, 43, pp. 199-204, 2002.
30. T. D'Andrea, P.F. Henshaw and D.S.-K. Ting, The Addition of Hydron to a Gasoline-Fuelled SI engine, *Int. J. Hydrogen Energy*, 29, pp. 1541-1552, 2004.
31. 洪榮芳，何柏村，許晉嘉，2005年5月，蓄熱式觸媒轉化器於機車引擎冷起動的應用，燃燒季刊，第十四卷，第二期，pp. 2-10，NSC 93-2212-E-168-001。
32. Rong-Fang Horng and Tser-Son Wu, 2005, Energy Requirement Assessment on an EHC with Heat Storing Material of a Small Four-Stroke Engine during Cold-Start, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, Vol. 219, pp. xx-xx, (Will appear in December Issue of 2005), NSC 92-2212-E-168-005, NSC 93-2212-E-168-001. (In Press) (SCI)

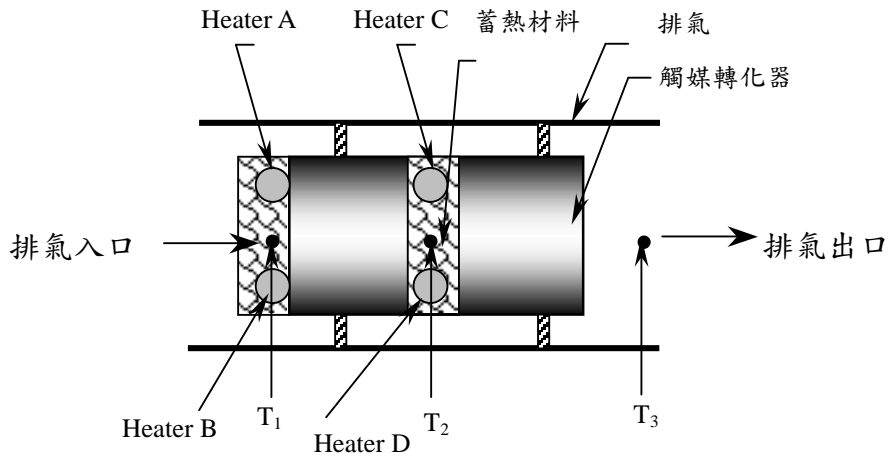


圖 1 蓄熱式觸媒轉化器加熱及溫度量測位置

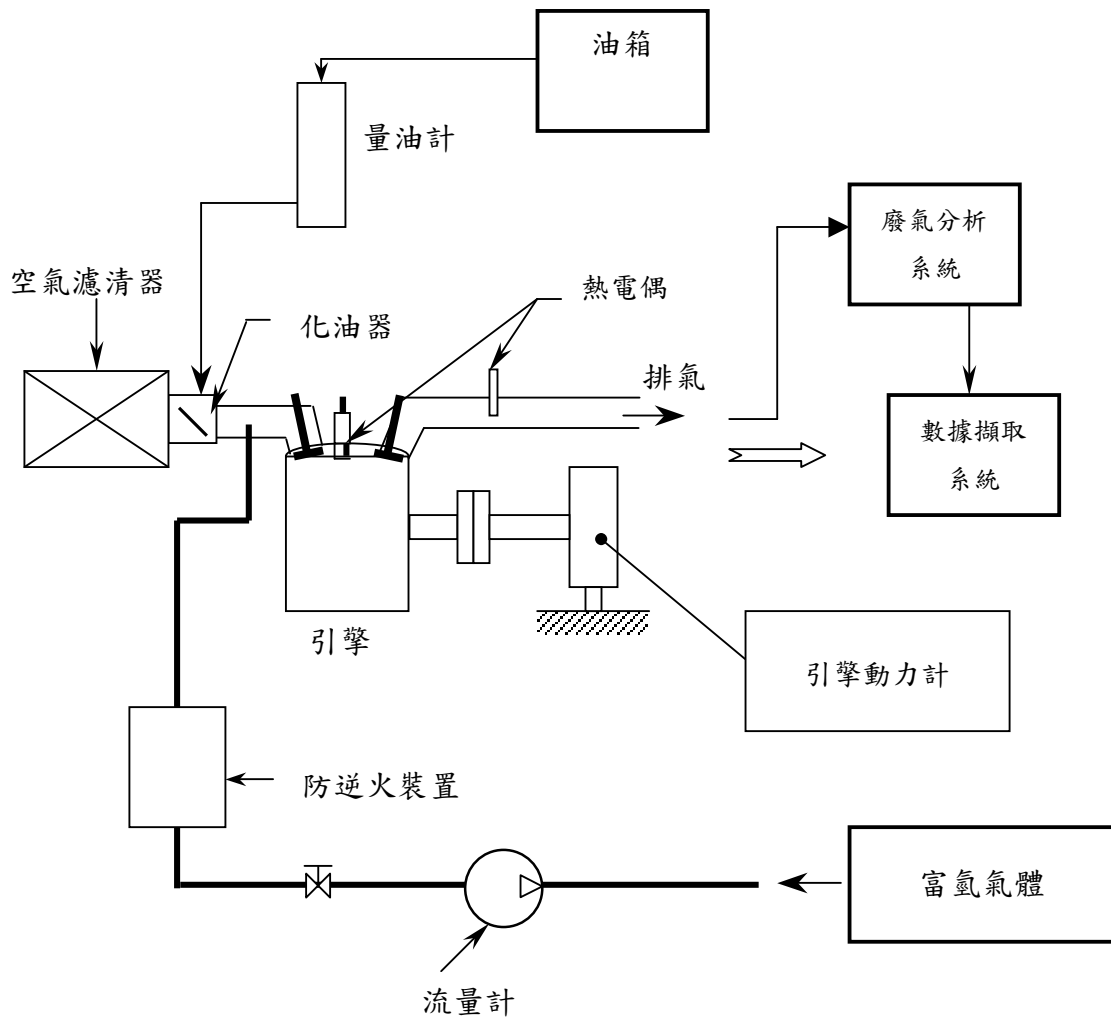


圖 2 富氫氣體添加燃料引擎實驗配置圖

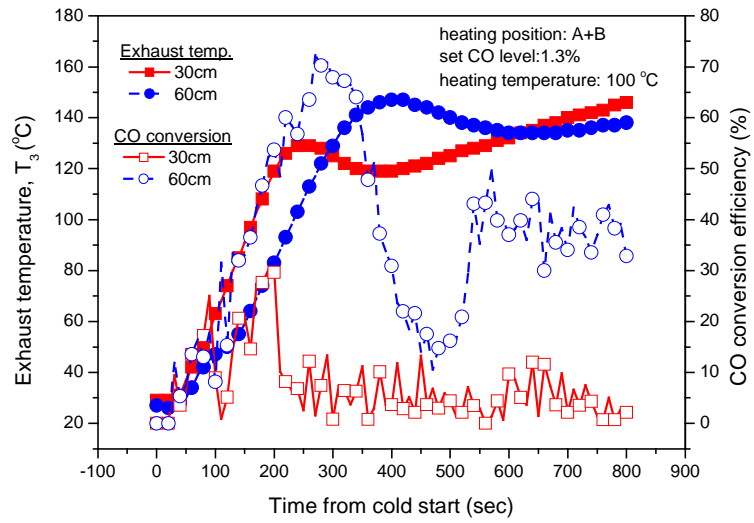


圖 3 觸媒出口排氣溫度與 CO 轉化效率的關係比較(加熱位置：A+B，加熱溫度：100°C，CO=1.3%)

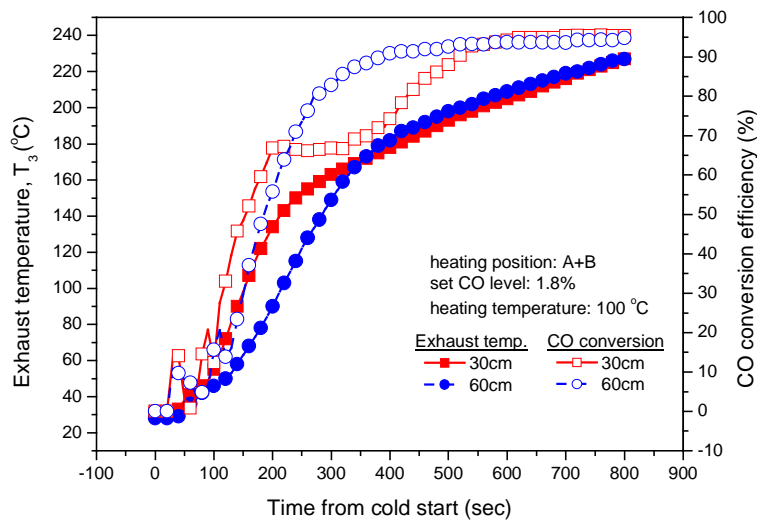


圖 4 觸媒出口排氣溫度與 CO 轉化效率的關係比較(加熱位置：A+B，加熱溫度：100°C，CO=1.8%)

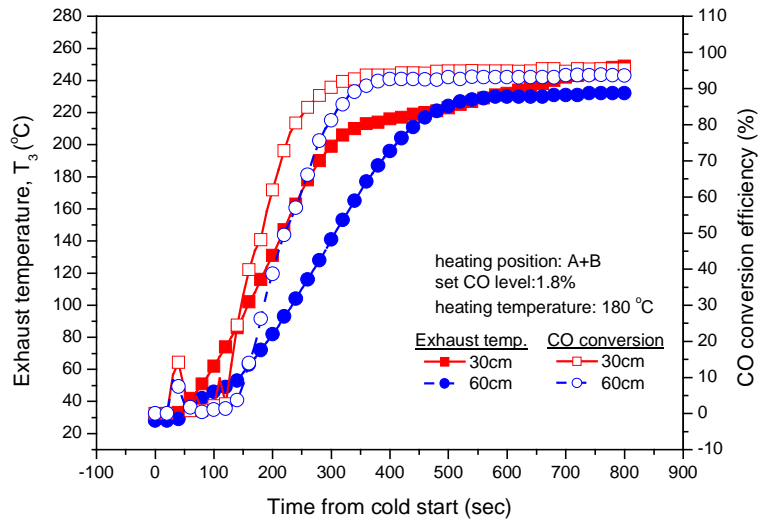


圖 5 觸媒出口排氣溫度與 CO 轉化效率的關係比較(加熱位置：A+B，加熱溫度：180°C，CO=1.8%)

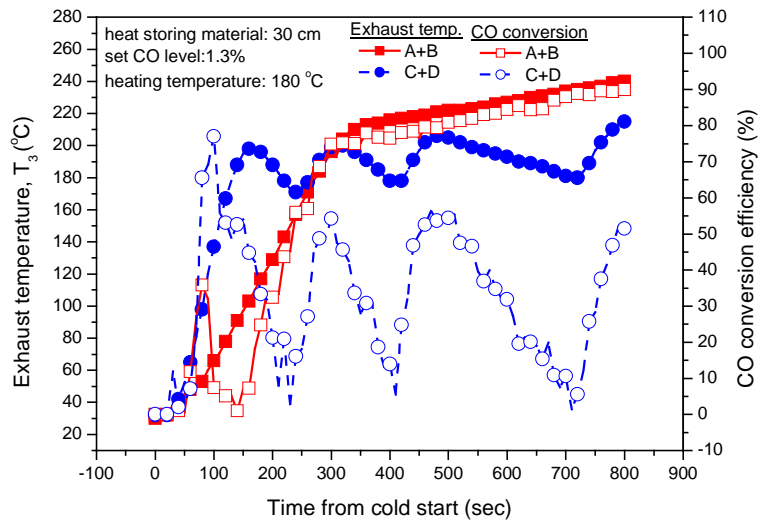


圖 6 觸媒出口排氣溫度與 CO 轉化效率的關係比較(蓄熱材料長度：30cm，加熱溫度：180°C，CO=1.3%)

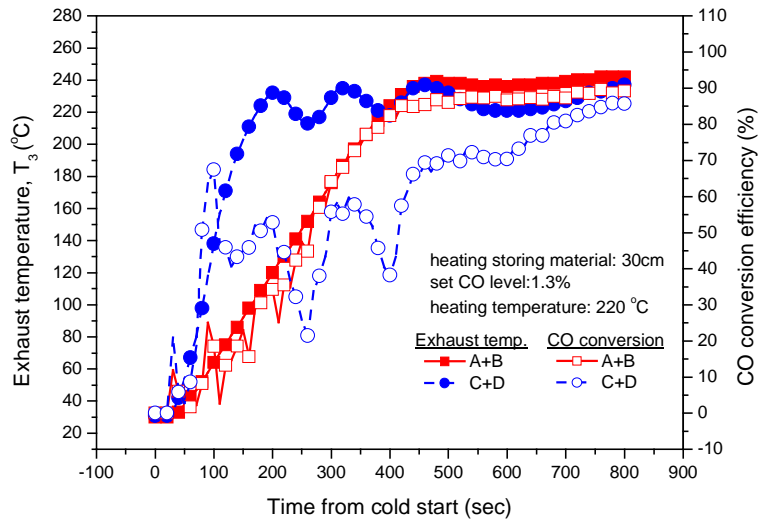


圖 7 觸媒出口排氣溫度與 CO 轉化效率的關係比較(蓄熱材料長度：30cm，加熱溫度：220°C，CO=1.3%)

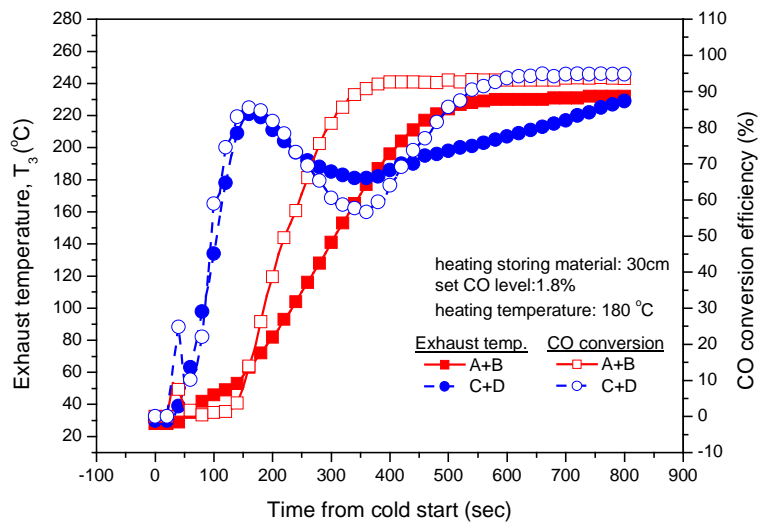


圖 8 觸媒出口排氣溫度與 CO 轉化效率的關係比較(蓄熱材料長度：30cm，加熱溫度：180°C，CO=1.8%)



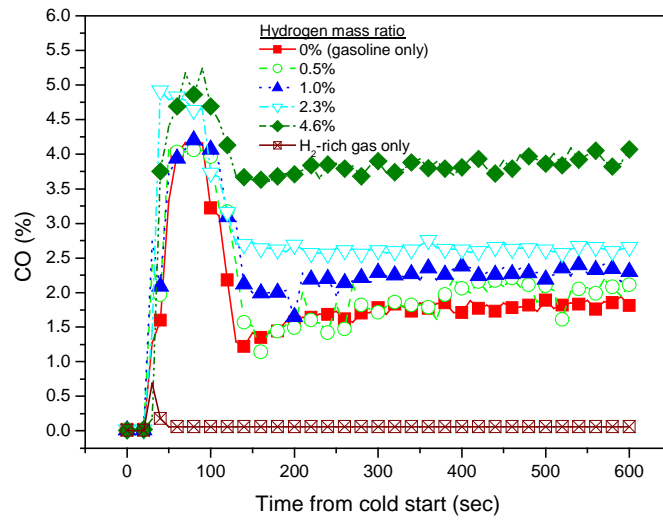


圖 9 汽油添加不同百分比富氫氣體之怠速運轉的 CO 污染排放

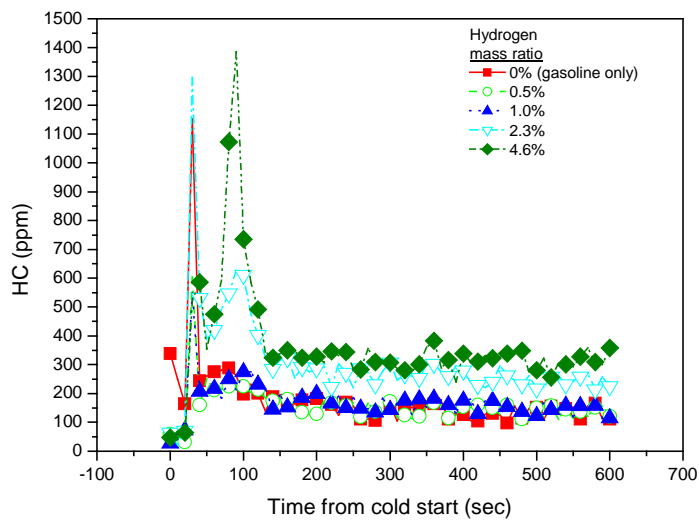


圖 10 汽油添加不同百分比富氫氣體之怠速運轉的 HC 污染排放

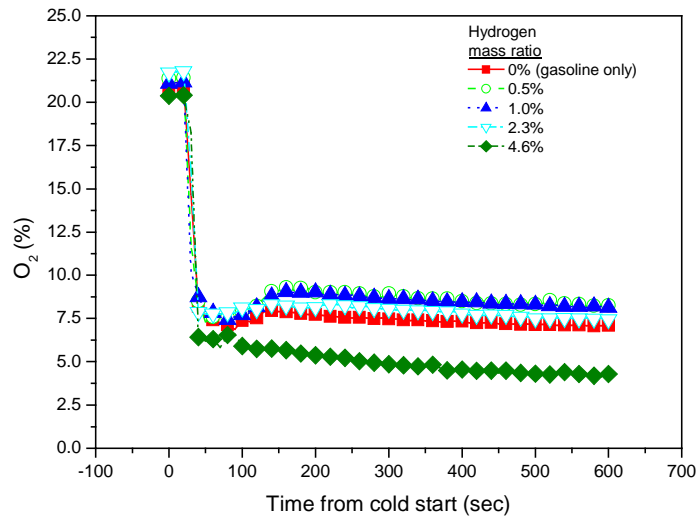


圖 11 汽油添加不同百分比富氫氣體之怠速運轉的  $O_2$  排放

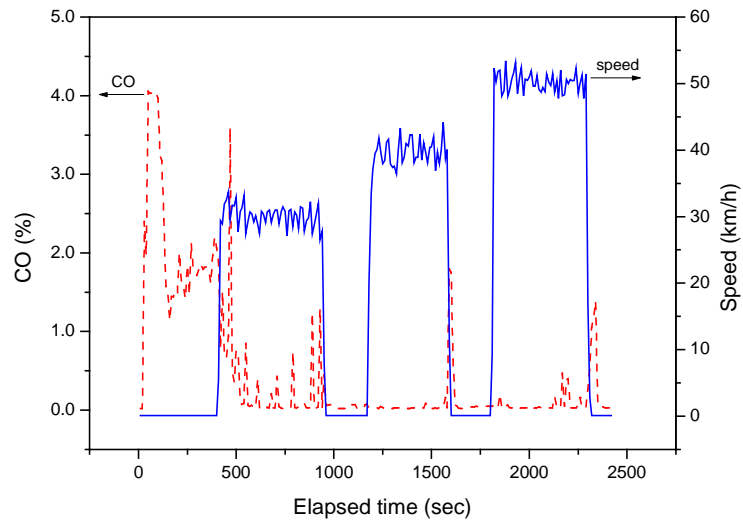


圖 12 汽油添加 0.5 l/min 富氫氣體流率之定速 30-50km/h 行車的 CO 污染排放

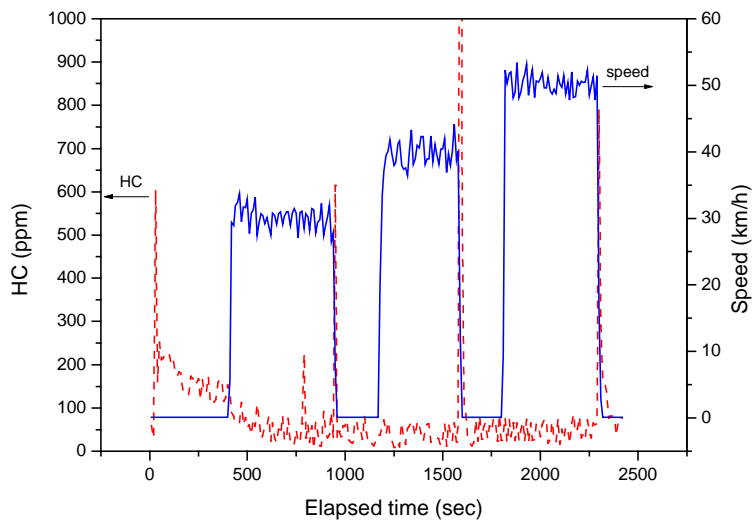


圖 13 汽油添加 0.5 l/min 富氫氣體流率之定速 30-50km/h 行車的 HC 污染排放

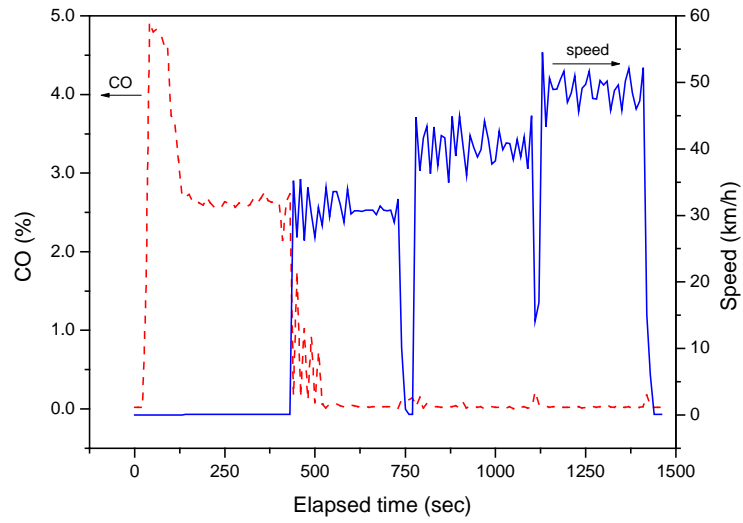


圖 14 汽油添加 2.3 l/min 富氫氣體流率之定速 30-50km/h 行車的 CO 污染排放

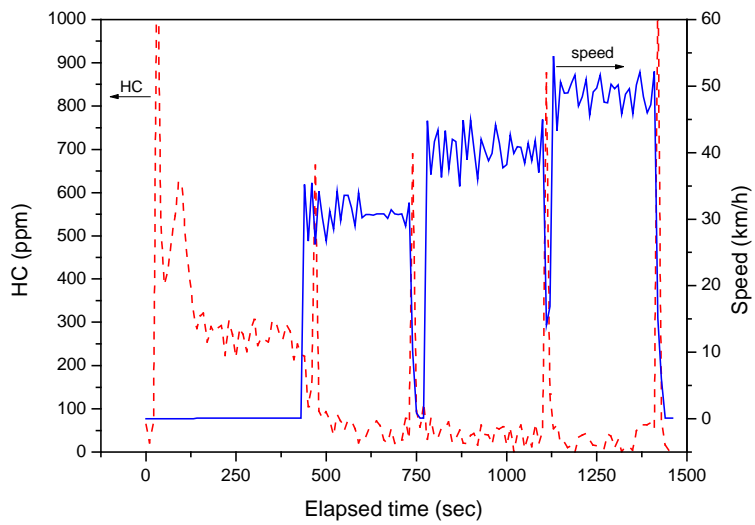


圖 15 汽油添加 2.3 l/min 富氫氣體流率之定速 30-50km/h 行車的 HC 污染排放

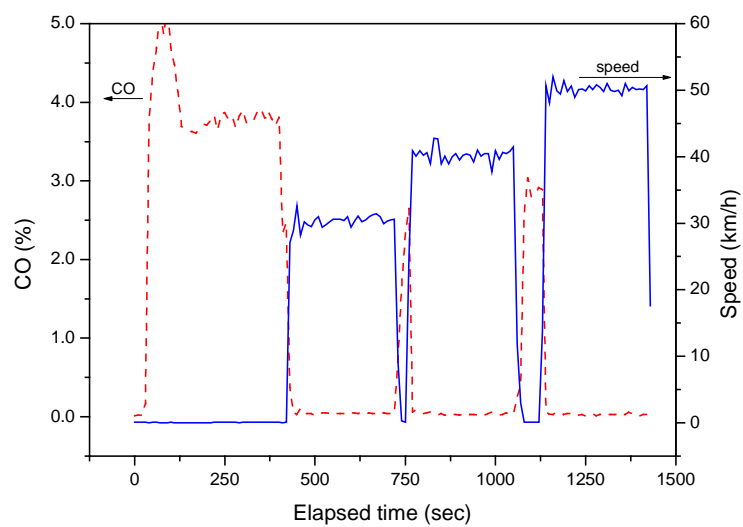


圖 16 汽油添加 4.6 l/min 富氫氣體流率之定速 30-50km/h 行車的 CO 污染排放

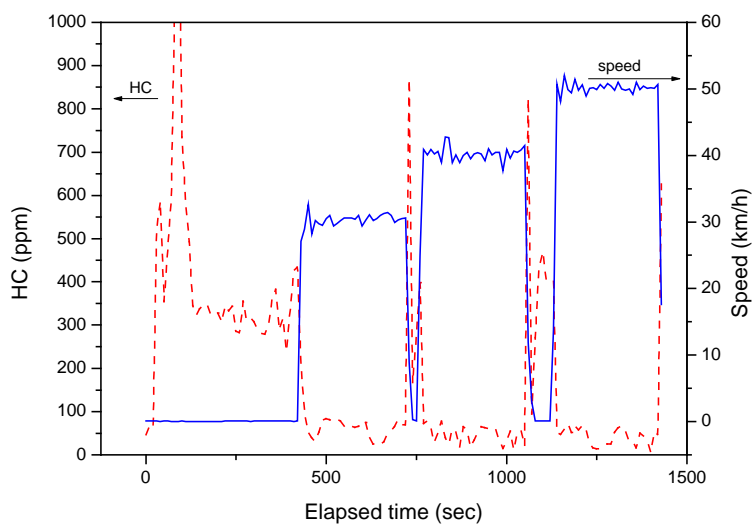


圖 17 汽油添加 4.6 l/min 富氫氣體流率之定速 30-50km/h 行車的 HC 污染排放

表 1 引擎規格

引擎形式：	氣冷式單缸四行程引擎
缸徑：	57 mm
行程：	57.8 mm
移程容積：	147 cm <sup>3</sup>
壓縮比：	9.2:1
供油系統：	CV type carburetor
進氣閥開啟：	0° BTDC*
進氣閥關閉：	25° ABDC*
排氣閥開啟：	33° BBDC*
排氣閥關閉：	0° ATDC*
使用燃料：	92 無鉛汽油配合富氫氣體

\*閥升程為 1mm 時

表 2 汽油與添加富氫氣體燃料的行駛里程比較

燃料成份	車速 (kph)	汽油 (kg/h)	氫氣 (kg/h)	氫氣質 量百分 比(%)	輸入熱量 (kJ)	里程 (km)	消耗相當於每公 升汽油熱值的行 駛里程 (km/33000kJ*)
Gasoline							
0.0 l/min	30	3.69	0	0	2706.00	2.50	30.49
	40	4.50	0	0	3300.00	3.33	33.33
	50	4.95	0	0	3630.00	4.17	37.88
H <sub>2</sub> addition (with gasoline)							
0.5 l/min	30	4.00	0.0024	0.0600	2965.15	2.50	27.82
	40	4.77	0.0024	0.0504	3550.54	3.33	30.98
	50	5.22	0.0024	0.0461	3856.15	4.17	35.66
1 l/min	30	3.42	0.0048	0.1405	2564.30	2.50	32.17
	40	4.05	0.0048	0.1186	3026.30	3.33	36.35
	50	4.50	0.0048	0.1068	3356.30	4.17	40.97
2.3 l/min	30	2.84	0.0111	0.3888	2202.22	2.50	37.46
	40	3.47	0.0111	0.3183	2664.22	3.33	41.29
	50	4.14	0.0111	0.2666	3159.22	4.17	43.52
4.6 l/min	30	2.43	0.0221	0.9025	2040.75	2.50	40.43
	40	2.88	0.0221	0.7626	2370.75	3.33	46.40
	50	3.60	0.0221	0.6110	2898.75	4.17	47.43

\*一公升汽油熱值： $10^{-3} \text{ m}^3 \times 750 \text{ kg/m}^3 \times 44000 \text{ kJ/kg} = 33000 \text{ kJ}$