廢氣成分與汽油噴射引擎控制系統關係之研究

林明俊* 葉榮鵬　胡書庭

南亞技術學院機械系

摘　要

本研究以 HERMANN MHC218 廢氣分析儀、MUT-II 及 CGS2000 多功能電表測量電子控制汽油噴射引擎在空負載條件下，從起動、溫車到引擎到達工作溫度的怠速運轉，以及急加速、急減速等狀態下的廢氣成分，並藉由量測噴油嘴之噴油脈寬(injection pulse width)、怠速控制閥(ISC/I AC)之工作循環率(duty cycle)或步進數(number of steps)，探討引擎在各種運轉條件下設計之基本理念，並推論引擎電腦系統之控制策略與反應靈敏度。研究結果發現，三元觸媒轉換器在達到工作溫度後，幾乎能將 CO、HC 淨化完全，本文並提出引擎溫車怠速時，能將 ISC 的開度與引擎運轉的目標轉速增加，以及急減速時能 ISC 的開度先增加再緩降之建議，以降低 CO 與 HC 之排放量。本文規劃的實驗計劃法與成果可提供社會消費大眾對車輛選擇之參考，且可提昇車輛研發及保修人員之技術層次及相關能力。

關鍵字：噴油脈寬，工作循環率

*E-mail： lmgm@nanya.edu.tw　Tel：03-4361070#6302　Fax：03-4384670

EXHAUST EMISSION AND ELECTRONIC GASOLINE INJECTION ENGINE CONTROL SYSTEM

Ming-Chung Lin*　Jung-Peng. Yeh　Shu-Ting Hu

Department of Mechanical Engineering

Nanya Institute of Technology

Jhongli, Taiwan

Abstract

In this study, the exhaust emission of the electronic gasoline control engine was measured and analyzed by HERMANN MHC218 gas tester, MUT-II and CGS2000 multi-meter. During the research procedures, a series of engine operating modes, including starting mode, warm up mode and run mode in the empty load idle engine speed, acceleration mode and deceleration mode. Besides, the injection pulse width, the duty cycle or the step number of idle speed control valve(ISC/IAC) that were measured to probe into the basic idea that the engine is designed under various kinds of operation conditions. This also inferred the control strategy and sensitivity of response of the engine control module from the result. It was found that the three-way catalyst converter could nearly purify CO and HC when it reached working temperature. In order to reduce the emission of CO and HC, this proposes that the ISC could adopt wider open degree and higher engine idle speed in engine warm up mode. ISC degree also could increase first then decrease gradually in engine deceleration mode. The experiment plan law and achievement of this text can offer the reference for the consumers to choose the vehicle. It also can promote the vehicle research, vehicle development, technician's technological level and relevant ability.

Key Words：injection pulse width, duty cycle

*E-mail： lmgm@nanya.edu.tw　Tel：03-4361070#6302　Fax：03-4384670

壹、前言

汽車是科學昌明之產物，已成為現代人不可或缺之交通工具。在觸媒轉換器變成控制排放物的傳統方法之前，大部份的汽車是設計於引擎在較濃的混合油氣運轉條件下，來獲得較好的動力輸出及平穩性。約在 1950 年代中期，有關汽車之環境污燃問題開始被重視後，汽車便成為移動性污染源禍首之一。由於排氣污染法規之出現，電子技術的發展，汽車已由電腦控制系統取代傳統之化油器。各汽車製造廠商無不努力在駕駛性能、馬力及扭力增加、燃料消耗改善等各項因素考量下，配合公害問題減低前提條件下，提高空燃比(air fuel ratio)控制精度的提高。

引擎在不同的結構設計及運轉條件下(包括燃燒混合氣空燃比、引擎溫度、點火正時角度、引擎運轉狀況、引擎負荷、燃料種類等因素)，其燃燒狀況有明顯之差異，因此產生的廢氣污染程度亦不同，同時這些因素對駕駛性能，馬力及扭力輸出，燃料消耗都有很大的影響。引擎運作時的無謂燃油消耗與過多的排氣污染取決於下列兩種情況，其一、駕駛人的踩踏油門習慣，當節氣門瞬間開啟時，其過於稀薄的油氣空燃比將無法即時供給我們所需要的動力；以及節氣門關閉瞬間時過濃的油氣空燃比中無法回收的燃料。其二、不良的空燃比控制，一旦空燃比(Air-Fuel Ratio)無法保持在最佳的混合比，則 CO、HC 或 NOx 均會增加，伴隨而來即是更嚴重的廢氣汙染。

迄至目前為止，廢氣分析儀在環保法規的執行角色，一般定位於檢測廢氣成分是否在標準值範圍之內的判斷工具；殊不知在公害問題減低前提條件下，可應用於量測汽車引擎在各種運轉條件下所產生之廢氣排放成分，藉以瞭解引擎之性能、反應性等，更進一步調校引擎的各項控制參數。在學術界與產業界關於此方面的研究非常少，因此希望能藉由本研究規劃的實驗計劃法與成果，來提供消費者及產業界關於此方面訊息，並期待能在學術研究上產生共鳴。

貳、文獻回顧

BOSH 公司在 1979 年提出數位引擎管理系統(MOTRONIC)。其系統不斷的改善及提升系統性能。1988 年 Kaiser[1]等人介紹了 MOTRONIC 系統，其主要功能是由噴油、點火、混合比、怠速、爆震、油氣回收等控制組成。而為了在汽車的服役期間能保持性能穩定，也廣泛的使用自適應控制策略。1989 年 Nishiyama[2]，等人則詳加探討引擎暫態負荷變化時，混合比隨相關因素諸如燃

油傳輸遲延、噴油正時、噴油嘴靜態特性、空氣流量感測遲延等加以探討其感度並建立其響應動態關係，提供對應之策略以提高控制準確度。1990 年 Baruah[3]則以雙區燃燒模式(Two Zone Model)配合化工動力學分析排廢氣成分氮氧化物及一氧化碳之濃度。透過非線性之進排氣歧管氣流波動特性分析一四缸汽油引擎及整車之齒輪減速動態模擬該車型在不同之暫態負荷變化下之性能。1996 年 Nasu[4]等人以排氣通過觸媒轉換器及相關含氧感知器之動態特性，配以適當之燃油噴射系統特性以有效控制觸媒轉換器中混合比之變異。其動態模擬方法是建構於 Matlab\Simulink®，使得燃油噴射系統控制器之設定策略可在動態模擬過程中尋求觸媒轉換器轉換最大效率。1997 年 Moyne[5]等人探討暫態運轉時進氣口噴射引擎長久以來皆有空燃比的差距的結果。這些差距導致更高的污染物排放，即使在裝有三元觸媒轉化器的車輛。要減少這些差距靠燃油噴射控制就能夠實現，但是準確的燃油噴射量是依賴空氣的流動與燃料的動力學。1998 年 Arsie [6]等人介紹了一個模擬火花點火引擎性能和排放廢氣熱力學模型。針對引擎的控制策略最佳化進行研究，以求減少引擎性能及排放廢氣之間相互干擾的因素，而此模型之模擬結果經過驗證之後，其精確度相當高，使用此模型可減少實驗之次數。1999 年 Morel[7]等人發展一個新工具應用於引擎暫態時和動力傳遞的設計與最佳化，而著重於引擎暫態運轉過程的模擬，其中包含引擎的進氣、燃燒、排放廢氣、暖車的過程，並更進一步有車輛動態與動力傳遞的模擬。進而將引擎動態模型與車輛動力傳遞模型結合，可針對整車性能進行模擬與分析，並對動力傳遞系統進行控制分析。2000 年 Al-Olimat 等人[8]提出，直接噴射是汽油引擎傳動發展現中，運用寬域空燃比控制法則。透過法則控制空燃比維持在目標空燃比，藉由寬域含氧感知器量測做為回授訊號，加以修正噴油脈寬。利用混合式估計器來估計以曲軸角度為基礎，之引擎延遲和以時間為基礎之感知器測量特性，來決定空燃比之目標與測量之間的誤差。在此以時間為基礎之 PI 控制器被設計來修正空燃比之誤差。

1994 年林俊雄[9]針對進氣道噴射式四行程機車噴油引擎，探討噴油壓力、噴油寬度及噴油正時在不同轉速及負荷狀況對引擎燃燒特性的影響。將噴油系統實際應用在 150 c.c. 四行程機車引擎上。經過實驗之後，可得到的結果是：(1)噴油壓力大者，其指示平均有效壓力稍大且汽缸最大壓力略小(2)噴油寬度太大或太小，而在有負荷狀況下則會使引擎的扭力及馬力降低。(3)噴油正時改變導致的油氣短路現象，在負荷越大及油門開度越大時，因油氣短路現象更嚴重。(4)噴油引擎與化油器引擎相比較，不管是在怠速或在各種油門開度狀況下，都能符合較低

污染排放量及較佳燃燒特性的需求，尤其在高負荷狀況下更能達到省油之目的。1998 年簡錫新[10]由感測器量測之引擎工作參數（如曲軸角度、進氣歧管壓力、引擎轉速、油門位置、進氣流量、排氣之含氧濃度等）主要用來決定引擎之工作環境與狀態，再以電腦控制噴油點火之機車引擎實驗台為基礎，建立引擎控制參數自動調校發展系統，使控制參數的調校可以在穩態，甚至動態過程進行，並透過人機介面可即時監控量測參數，如此可以快速建立引擎控制單元之基本參數設定策略。

參、電子控制噴射系統相關原理及排放污染物成分與生成條件

就電腦噴射引擎的感知器訊號而言[11-12]，大體可分為主要訊號與補償訊號，主要訊號為維持引擎運轉的基本參考依據(如點火時間及噴油依據)，少了它引擎無法運轉，而輔助訊號為提供 ECU 有關於引擎運轉的其他相關資料，作為修正的依據，以期符合最佳化控制的目標。因此應用電子控制技術，針對引擎的工作狀態的不同，彈性的調整控制參數，也就是提供適當的噴油量並搭配正確的點火時機，可使引擎能夠隨時保持最佳狀態。

電子控制燃油噴射系統之汽油噴射量，就是以一次進氣行程吸入汽缸的空氣質量為基礎計算出來的。而汽油噴射量是由噴油嘴的開啟時間來控制。一次進氣行程吸入汽缸的空氣質量，可由安裝在進氣歧管的空氣流量計、進氣溫度感知器與大氣壓力感知器的輸出信號，以及引擎轉速的信號計算得之。再依據計算所得的空氣質量及目標空燃比以決定燃燒一次所需要之燃油質量。

目標空燃比是考慮引擎的動力性能、反應性、排出廢氣之淨化及燃油的經濟性而決定的。除了起動時等特殊運轉情形外，汽油噴射時間是由吸入空氣質量的信號為基礎之基本噴射時間，與各項修正值來決定。

汽油噴射的噴射時間，區分有同步噴射(引擎迴轉同步噴射)與非同步噴射。起動期間因進氣量並不穩定，且必須接收到 SGC(singal of cylinder)信號後才能確定點火汽缸，因此採同步同時對各缸噴射。噴油嘴會與 SGT(singal of timing)信號的建立而同步對所有汽缸噴油。在一般正常操作期間(非急加速、急減速等)，噴油嘴會與 SGT 信號的建立而同步個別在單獨汽缸噴油。非同步噴射是當節汽門位置全關開關被關閉時，所有的汽缸都會根據引擎冷卻水的溫度同時噴油一段時間，當節汽門的開啟角度變化率超出指定值的時候，燃油會根據引擎冷卻水的溫度同時對所有的汽缸噴油一段時間。

卡門渦流式空氣流量計引擎(例三菱)亦採用各運轉狀態之噴油脈寬一定，噴油次數由單位時間進氣量決定之非同步噴射。

汽油噴射量修正有起動後增量修正、暖車增量修正、高溫修正、進氣溫度修正、加減速時之修正、理論空燃比之回饋修正、學習控制之修正、高負荷之修正、高轉速之修正等，都由電腦接收各感知器的回饋訊號來修正噴油量。

燃油切斷控制系統是向噴油嘴輸送噴射停止信號，在下列狀況是被要求停止供給燃料。一、為節省燃料消耗率在減速時進行燃料切斷，另一方面防止觸媒轉換器過熱。二、為防止引擎因高轉速而損壞進行燃料切斷。燃料切斷及恢復供油之轉速需考慮變速箱齒輪檔位、有無冷氣機等電氣負載、引擎冷卻水溫度等條件來設定。以達到空燃比之適當化及引擎轉速之穩定性。

怠速空氣控制閥(IAC)控制通過節汽門之旁通空氣量以改善燃油效率、引擎性能與怠速之穩定性。目前控制怠速空氣控制閥開度的方式有步進馬達步進數(step)與工作循環率(duty cycle)兩種。怠速空氣控制閥修正的項目有:一、起動後修正，目的在穩定引擎起動後之轉速。二、負載修正，目的在修正當空調系統、動力轉向及其他負載開啟時之引擎轉速。三、回饋修正，目的在將引擎轉速提升至目標轉速。四、換檔修正，目的在減低換檔時之排檔振動。五、緩衝器修正，目的在減速期間，降低減速振動與控制 CO 及 HC 之排放量。

火花點火引擎為環境中空氣污染的主要來源之一[13-15]，在排氣中含有氧氣化合物類(一氧化氮 NO 與少量的二氧化氮 NO_2- 總稱為 NOx)、一氧化碳 CO 及有機化合物- 未燃或部份燃燒的碳氫化合物(HC)，其產生之相對量決定於引擎設計與操作狀態。由分子氮(及其毀滅)形成 NO 的主要反應為

$$O+N_2=NO+N \quad (1)$$

$$N+O_2=NO+O \quad (2)$$

$$N+OH=NO+H \quad (3)$$

$$NO+HO_2=NO_2+OH \quad (4)$$

$$NO_2+O=NO+O_2 \quad (5)$$

生成物有 NO 、NO_2、N_2O 等簡稱為 NOx 。CO 形成為碳氫化合物燃燒機構的主要反應方程式可以簡要寫成

$$RH\rightarrow R\rightarrow RO_2\rightarrow RCHO\rightarrow RCO\rightarrow CO \quad (6)$$

其中 R 代表碳氫化合物基。在燃燒過程中以此路徑形成的 CO 隨後以比較低的速率氧化為 CO_2。空氣火燄中主要 CO 氧化反應為

$$CO+OH=CO_2+H \quad (7)$$

活塞吹漏氣及引擎停機後，由燃料箱的燃料蒸發經通氣孔釋入大氣，也是未燃碳氫化合物的來源。在現代引擎中，這些非排氣源、已經能有效地控制，方法是將吹漏氣由曲軸箱通回引擎進氣系統，油箱之燃料蒸氣經吸收蒸氣之活性碳罐，在引擎正常操作期間引入引擎進氣系統沖洗。

在排氣的污染物成分中，其形成濃度和主要燃燒過程有密切之關係。火燄高溫已燃氣體透過涉及氮與氧原子及分子的化學反應形成一氧化氮，已燃氣體溫度愈高，則 NO 的生成率愈大。當已燃氣體在膨脹衝程中冷卻時，涉及 NO 的反應也凍結。

在濃燃料空氣混合物燃燒過程中，因無足夠之氧使燃料中所有的碳燃燒為 CO_2，於是形成一氧化碳。當在膨脹衝程中， 已燃氣體溫度下降時，CO 的氧化過程也會凍結。

火花點火引擎 HC 排放形成的可能情形有四種:(1)火燄在燃燒室壁淬火時，在壁面留下一層未燃燃料空氣混合物；(2)未燃混合物填入活塞、活塞環及汽缸壁縫隙入口處淬火，未參與主燃燒過程；(3)燃料蒸氣在進氣及壓縮過程中被溶入汽缸壁上的機油層內，然後在膨脹與排氣過程中離開機油層進入汽缸內；(4)引擎操作中有些循環不完全燃燒(部分燃燒或完全不著火)，係發生於燃燒品質不良時，例如引擎狀態改變時，其 A/F、EGR 與火花點火可能未充分控制。

引擎排放物的減少，除引擎本身結構及控制系統之改善外，最典型去除排氣汙染物的裝置即是三元觸媒轉換器 TWC(three way catalytic converter)(HC 與 CO 的氧化觸媒、NOx 的還原觸媒)。汽油引擎的排氣溫度，從空轉的 300℃到 400℃變化到高動力操作時之 900℃左右，最常見的範圍則為 400℃至 600℃。汽油引擎通常以介於 12.5 至 18 之空燃比範圍操作，因此，排氣中可能含有一些氧(貧燃料區)或相當多的 CO(濃燃料區)。排氣中的 CO 與碳氫化合物的觸媒氧化，可以低到 250℃的溫度反應。由排氣中去除 NOx 的方法中，已知只有觸及觸媒過程者令人滿意。以排氣中的 CO、碳氫化合物或 H_2 將 NO 還原成 N_2，在汽油引擎是比較受偏好的觸媒過程。氧化觸媒的作用，是將排氣流中的 CO 與碳氫化合物氧化為二氧化碳與水。火花點火引擎放出的碳氫化合物中，大約有一半是未燃的燃料化合物。飽和的碳氫化合物最不容易氧化，氧化則以分子量愈大愈容易氧化。要將 CO 與 HC 氧化，必須有充分的氧存在。

汽油引擎中所採用的觸媒轉換器，是一種活性觸媒材料構成，這種材料被放在一設計特殊的殼內，使排氣流過觸媒床。將 CO 或 HC 氧化或將 NO 還原的活性材料(通常為貴金屬)必須分佈成大表面積，使氣相與活性觸媒表面之間的質量

傳遞特性足以利用高觸媒活性造成接近 100%的轉化。貴金屬本身具有活性，故最適於做為觸媒材料。新貴金屬氧化觸媒使用一段時間後，其有效性會下降。觸媒的作用是將反應物吸附在高活性表面位置，然後發生化學反應，最後則放出產物。觸媒變壞的原因有兩種，即這些位置被毒化而失去活性與這些位置被燒結而使有效面積變小。毒化同時影響觸媒的溫車與穩態性能，發生毒化時，觸媒因為與干涉性元素長期接觸而失去活性，這些干涉性元素可能以物理方式將活性位置遞位，或與活性材料化學反應。燃料抗爆劑中的鉛及機油添加劑中的磷為最重要的毒化劑，雖然使用觸媒的車輛並未在汽油中加入含鉛抗爆震劑，但是這種燃料會被燃料分配系統汙染而有會少量鉛(10mg/dm^3)。燃料中的鉛有 10 至 30%之間會留在觸媒上。鉛使 HC 的觸媒氧化減弱的效用大於對 CO 的氧化作用，尤其是飽和碳氫化合物的氧化活性。由燃料與機油中的微量重要元素所造成的毒化程度，係決定於那些元素存在、被吸收的量、觸媒的組成、操作的狀態(尤其是溫度)等。觸媒暴露於高操作溫度之下時，燒結現象增大，故其活性表面積減少。

NO 的觸媒作用是採還原，即利用排氣中的 CO、碳氫化合物與 H_2。反應式如下:

$$NO+CO \rightarrow 0.5N_2+CO_2 \quad (8)$$

$$2NO+5CO+3H_2O \rightarrow 2NH_3+5CO_2 \quad (9)$$

$$2NO+CO \rightarrow N_2O+CO_2 \quad (10)$$

$$NO+H_2 \rightarrow 0.5N_2+H_2O \quad (11)$$

$$2NO+5H_2 \rightarrow 2NH_3+2H_2O \quad (12)$$

$$2NO+H_2 \rightarrow N_2O+H_2O \quad (13)$$

銠為商用觸媒中用來解除 NO 的主要成分，它對 NO 的還原非常活躍，且 CO 及硫成分對它的抑制性非常小。鉑最常用來氧化 HC 及 CO，它在理論空燃比及油氣較稀情形下具有良好之活性。

肆、研究方法與實驗設備

本研究以 HERMANN MHC 218 廢氣分析儀、MUT-II 及 CGS2000 引擎性能量測用電表，測量各車系引擎在無負載運轉條件下，各溫度怠速空轉各轉速、急加速、急減速等狀態下，分析廢氣成分，並量測作動器(actuator)中噴油嘴噴油脈寬(injector pulse width)，怠速控制閥(ISC/IAC)工作循環率(duty cycle)或步進數(number of steps)探討引擎在各種運轉條件下設計之基本理念，並可得知各電腦控制系統之反應靈敏度，進而分析燃油噴射引擎之控制策略。

本研究進行的實驗步驟及方法如下：

1. 選定測試車系的引擎為MAZDA l.8L與三菱1.6L，量測項計有空負載各機油溫度(引擎溫度)下的引擎轉速、CO濃度(%vol)、HC濃度(ppm vol)、噴油脈寬、怠速控制閥工作循環率(或步進數)。
2. 以MAZDZ I.8L引擎車系先進行測試研究，由測試過程中檢討修改實驗項目及步驟，並由各機油溫度下HC、CO成分、噴油脈寬、怠速控制閥工作循環率與引擎轉數之關係，由實驗觀察值配合量測結果繪製之曲線圖進行分析，歸納出結果。
3. 量測各運轉條件下，在排氣管中觸媒轉換器後之HC、CO成分濃度變化，並由觸媒轉換器前之HC、CO成分濃度變化作比較分析，來瞭解觸媒轉換器所發揮之效能。
4. 對三菱1.6L車系引擎進行測試，並由實驗觀察值進行各項數值分析，並歸納結果。
5. 綜合比較各車系燃油噴射引擎設計之特點並提出建議。

伍、結果與討論

本研究分析 MAZDA 1.8L 引擎測試的結果如圖一至圖七所示。

1. 如圖一，引擎起動時，燃料噴射量由引擎溫度決定。從測試結果中得知在機油溫度20℃時噴油脈寬由15ms再向下修正。如圖二，怠速時因節氣門關閉，為補充額外之進氣量，ISC開啟度由工作循環率68.5%再緩慢向下修正。在引擎起動期間，由起動馬達帶動引擎，因引擎轉速低導致進氣不穩定，必須有充分的燃料加入進氣中，藉由在汽缸中的爆燃以產生足夠的扭力；引擎內的混合氣被加濃很多，引擎是以濃燃料運轉，因此混合氣中含氧量不足，加上在低溫起動，汽缸中燃料汽化不良，因此排出高濃度之CO(最高達4.96%)與HC(最高達768ppm)，如圖三與圖四。
2. 引擎機油溫度2l℃至75℃之間為溫車期間。在引擎機油溫度2l℃時，而引擎自行運轉的同時，引擎轉速由1276rpm迅速降至l0l6rpm，噴油脈寬從15ms降至4.5ms，ISC工作循環率由68.5%緩慢修正至53%；含氧量還是偏低，汽缸溫度低，消燄層(quench)增厚，因此CO(4.96%至0.67%)與HC(768至214ppm)濃度依然偏高。在23℃至40℃溫度之間，引擎轉速由914rpm修正至目標轉速附近的763rpm；噴油脈寬從4.2ms降至3.2ms，ISC工作循環率從51%緩慢修正至42%；由於平均一行程之噴油量為引擎起動時之20%至28%，引擎溫度提高，

消燄層漸變薄，燃燒效率提高，因此CO濃度從0.67%降至0.55%，HC濃度從214ppm降至189ppm。引擎機油溫度在40℃至80℃之間，引擎轉速維持在目標轉速750rpm上下，噴油脈寬從3.2ms降至2.5ms，ISC工作循環率由45%緩慢修正至23%；由於空燃比漸修正成理論空燃比，引擎溫度漸提昇至工作溫度，燃料汽化更完全；因此，CO濃度的介於0.55%至0.64%，HC濃度從189ppm降至132ppm。

3. 引擎機油溫度在76℃以上，引擎控制單元進入閉迴路控制，引擎轉速維持在目標轉速750rpm，噴油脈寬約2.5ms，ISC工作循環率23%；由於空燃比修正成理論空燃比，CO濃度維持在約0.55%，HC濃度維持在約l25ppm。
4. 引擎機油溫度在78℃時，冷卻風扇作動，引擎轉速稍為提高至775rpm，噴油脈寬提高至2.6ms，ISC工作循環率維持23%；因此，CO濃度維持約0.55%左右，HC濃度提高至132ppm。
5. 引擎機油溫度在80℃以上，引擎控制單元在閉迴路控制狀態，且處於較高溫燃燒狀態，燃料汽化性提高，引擎轉速維持在目標轉速750rpm，噴油脈寬約2.5ms，ISC工作循環率23%；因此，CO濃度維持在0.50%上下，HC濃度維持在55ppm。
6. 如圖五與圖六，引擎機油溫度在83℃進行急加速動作，使引擎轉速提高至約3000rpm並在該轉速維持運轉一段時間。在急加速動作時，噴油脈寬迅速從2.5ms提高至8.3ms，ISC工作循環率很快地從23%提昇至45%；由於急加速動作時，各汽缸會同時噴油一段時間(非同步噴射)，HC濃度由120ppm昇高至189ppm。由於急加速增濃，雖有ISC開度增大之輔助，但燃料中含氧量仍然不足，CO濃度由0.55%提高至1.71%。在高速運轉情況下，控制引擎轉速維持在約3000rpm，噴油脈寬約3.1ms，ISC工作循環率42%；由於高速時油氣燃燒速度及燃燒效率提高，引擎控制單元在閉迴路控制的迴饋控制速度隨之加快，將空燃比修正成理論空燃比；因此，CO濃度維持在0.51%上下，HC濃度降低至47ppm。
7. 如圖五與圖六，引擎機油溫度在85℃時，由引擎轉速2995rpm時，將節汽門迅速釋放(急減速動作)。噴油脈寬迅速從3.1ms降低至0.2ms，當引擎轉速降至1200rpm時恢復為2.5ms；ISC工作循環率緩慢地從45%降低至30%；由於急減速動作時，節汽門突然關閉引擎控制單元會參考引擎溫度、引擎轉速，進行噴油器斷油；加上ISC開度增大會調節空氣進氣量，因此HC濃度由高轉速濃度47ppm驟降至32ppm，CO濃度由0.51%驟降至0.31%。

8. 從圖三，可觀察在各引擎機油溫度下，觸媒轉換器前後CO濃度(%Vol)之變化情形。在21℃引擎起動時，CO濃度經觸媒轉換器轉換前後約減少約2.5%。23℃至25℃剛起動後溫車階段，經觸媒轉換器轉換，CO濃度前後約減少0.1%至0.33%。在40℃以上，因觸媒轉換器漸漸達到工作溫度，除在急加速狀態CO濃度有些許未淨化外(1.71%降至0.12%，如圖七)，其他狀態CO濃度皆被完全淨化。
9. 從圖四可觀察在各引擎機油溫度下，觸媒轉換器前後HC濃度(ppm vol)之變化情形。21℃引擎起動時，HC濃度經觸媒轉換器轉換，前後約減少50ppm至270ppm。在23℃至25℃剛起動後溫車階段，經觸媒轉換器轉換，HC濃度前後約減少18ppm。在40℃以上，因觸媒轉換器漸達工作溫度，可將HC濃度降低約l00ppm至l20ppm；在80℃以上時，除在急加速狀態HC濃度未被淨化外(189ppm(145ppm)降至34ppm(13ppm)，如圖八)，其他狀態HC濃度幾乎能完全被淨化。

本研究分析三菱 1.6L 引擎測試的結果如圖九至圖十四所示。

1. 如圖九至圖十一，在機油溫度19℃起動時，引擎轉速由1434rpm向下修正，排出高濃度之CO(最高達5.78%)與 HC(最高達34lppm)。從測試結果中知噴油脈寬由3.3ms再向下修正。ISC開度由81步進數再緩慢向下修正。
2. 引擎機油溫度20℃至75℃之間為溫車期間。在20℃時，引擎轉速由1364rpm降至1322rpm，噴油脈寬從3.lms降至2.8ms，ISC開度由75步進數緩慢修正至68步進數；CO(3.71至1.66%)與HC(331至188ppm)濃度依然偏高。在21℃至45℃溫度之間，引擎轉速由1208rpm修正至目標轉速818rpm；噴油脈寬從2.8ms降至2.6ms，ISC開度從66步進數緩慢降至26步進數；CO濃度從0.61%降至0.53%，HC濃度從225ppm降至177ppm，但是從量測過程中發現HC濃度呈現145ppm至188ppm之間的周期性變化。引擎機油溫度在45℃至77℃之間，引擎轉速維持在目標轉速750rpm至8l0ppm，噴油脈寬從2.6ms降至2.3ms，ISC開度由26步進數修正至16步進數；由於空燃比漸修正成理論空燃比，引擎溫度漸提昇至工作溫度，燃料汽化更完全；因此，CO濃度約0.5%上下，HC濃度從166ppm降至12lppm。但是從量測過程中發現HC濃度依然呈現136ppm至198ppm之間的周期性變化。偶而還出現230ppm高濃度的突兀情形。
3. 引擎機油溫度在80℃以上，引擎控制單元進入閉迴路控制，引擎轉速維持在目標轉速800rpm，噴油脈寬約2.3ms，ISC開度15步進數。由於空燃比修正成理論空燃比，因此，CO濃度維持在0.5%上下，HC濃度維持在12lppm至

125ppm。

4. 引擎機油溫度在78℃時，冷卻風扇作動，引擎轉速稍為提高至884rpm，噴油脈寬維持2.3ms，ISC開度增為17步進數；CO濃度降為0.48%上下，HC濃度降低為113ppm。
5. 如圖十二至圖十四，引擎機油溫度在82℃為急加速動作，使引擎轉速提高約3000rpm並在該轉速維持運轉一段時間。在急加速動作時，噴油脈寬迅速從2.3ms提高至2.5ms，ISC開度很快地從15步進數提昇至36步進數， HC濃度由125ppm昇高至484ppm。CO濃度由0.44%提高至1.12%。在高速運轉情況下，控制引擎轉速維持在約3000rpm，噴油脈寬約2.3ms，ISC開度36步進數；CO濃度維持在0.50%上下，HC濃度150ppm。
6. 引擎機油溫度在82℃時，由引擎轉速2998rpm時，將節汽門迅速釋放(急減速動作)；噴油脈寬迅速從2.3ms降低至0.1ms，當引擎轉速降至1336rpm時恢復為2.3ms；ISC開度很緩慢地從36步進數降低至15步進數；HC濃度由高轉速濃度150ppm驟降至88ppm，CO濃度由0.48%驟降至0.32%。
7. 引擎機油溫度在82℃以上，引擎控制單元在閉迴路控制狀態，且處於較高溫燃燒狀態，燃料汽化性提高，引擎轉速維持在目標轉速800rpm，噴油脈寬約2.3ms，ISC開度15步進數；因此，CO濃度維持在0.5%上下，HC濃度維持在120ppm附近。

陸、結論與建議

本文主要在研究以 HERMANN MHC218 廢氣分析儀量測引擎空負載下起動、溫車、急加速與急減速狀態下之 HC 與 CO 濃度變化情形，配合 CGS2000 多功能電表與 MUT-II 之量測得知噴油脈寬變化與 lSC 開度變化之情形，進而分析噴射引擎電腦之控制策略。

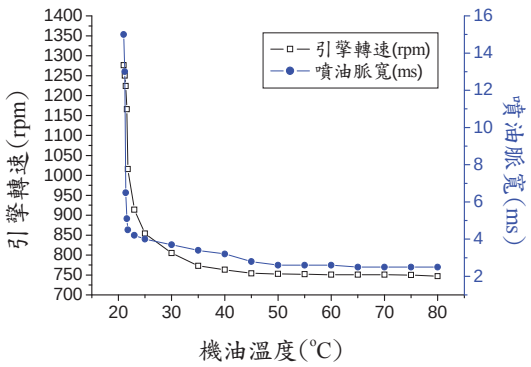
電子燃料噴射引擎系統是參考各感知器來形成開迴路與閉迴路控制，而表現出引擎之性能、反應性與耗油率之良窳。廢氣分析儀平常只用於檢驗廢氣排放是否達到標準，本研究進一步利用它來分析引擎整個控制行程，判斷電子噴射引擎反應之速度是否靈敏，更可偵測系統是否存在故障。

綜合兩種引擎的各項量測，對引擎在空負載狀態下，引擎的控制策略歸納以下心得，並在環境保護的前提及節約能源觀點提出建議：

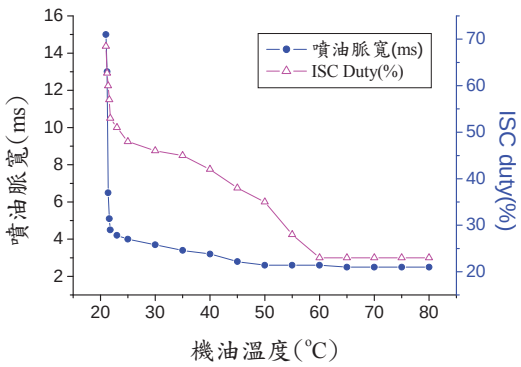
1. 起動狀態時，從HC(768ppm>341ppm)、CO(6.6%>5.78%)廢氣排放濃度可知MAZDA引擎比三菱引擎利用更濃燃料來使引擎啟動。建議可將旁通量再增

加，噴油脈寬再降低，以順利起動為原則。

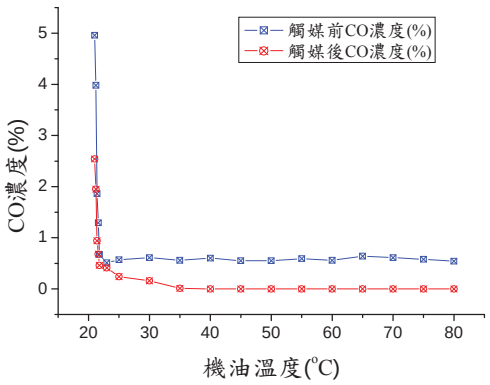
2. 從溫車至引擎到達工作溫度，MAZDA引擎之CO排放量一直在0.5%以上，建議將ISC的工作循環率再提高，以增加空氣之含氧量來降低CO之排放濃度。
3. 在溫車階段，噴油嘴噴油脈寬由引擎溫度決定。MAZDA引擎之CO排放量一直維持在0.55%附近，HC濃度隨著引擎機油溫度上昇而遞減(200ppm→20ppm)，引擎轉速維持於約750rpm，建議將ISC的工作循環率再提高，以增加空氣量降低CO濃度。很明顯的三菱引擎的溫車引擎轉速採比到達工作溫度之引擎轉速低50rpm，由於在較低引擎轉速溫車，且噴油量由進氣頻率決定(非同步噴射)，導致引擎各缸噴油率較不均勻，引擎轉速較不穩定，HC排放濃度呈現143ppm至224ppm週期性變化，建議將溫車轉速再提高至800rpm。
4. 急加速時，ISC開度皆是迅速增加；急減速時，ISC開度皆是緩慢減少；急減速時，真空度突然增加，除噴油嘴斷油外，因燃料汽化良好，為補充更多空氣量，建議ISC開度可先增加後再緩減，以使CO濃度更降低。急踩踏板會造成急加速增濃修正，HC與CO濃度瞬間提高甚多。若駕駛習慣不佳，不但引擎耗油、且排放廢氣量會增加造成空氣污染，且有後燃現象影響觸媒轉換器壽命。
5. 觸媒轉換器對CO與HC排放濃度的淨化效果相當好，尤其是CO之排放濃度；建議將溫車時之引擎轉速提高，使觸媒轉換器較快到達工作溫度，提高淨化能力。
6. 本廢氣分析儀乃FOUR GAS量測儀，無法對廢氣NOx進行量測，若能加上NOx量測、引擎動力計分析動態之負荷量測，由電腦介面來改變各運轉狀態之點火角度、噴油脈寬、ISC開度等條件下，則可在引擎扭力馬力性能、耗油率、反應靈敏度與廢氣排放標準要求等各條件中找出最佳設計點。



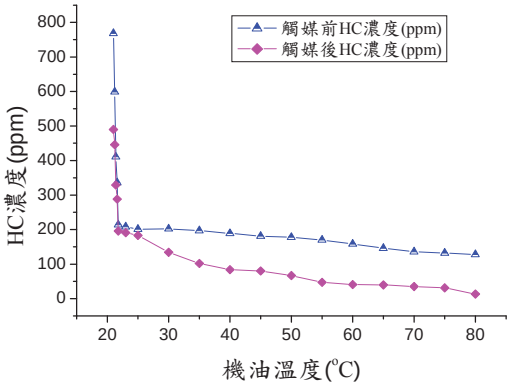
圖一 各機油溫度下，引擎轉速與噴油脈寬變化關係圖(MAZDA 1.8)



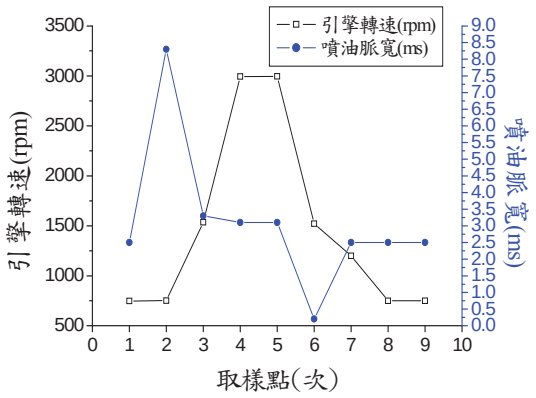
圖二 各機油溫度下，噴油脈寬與 ISC 工作循環率變化關係圖(MAZDA 1.8)



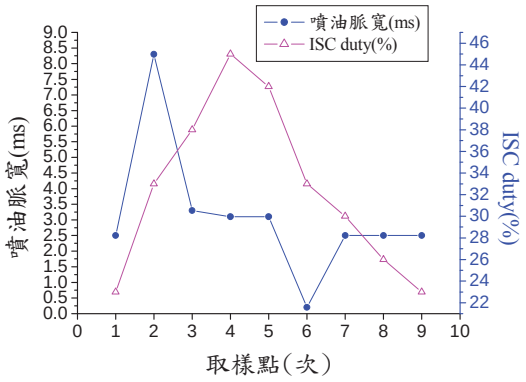
圖三 各機油溫度下，觸媒前後 CO 濃度變化關係圖(MAZDA 1.8



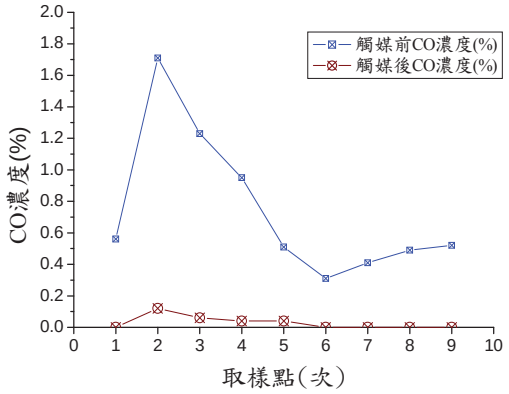
圖四 各機油溫度下，觸媒前後 HC 濃度變化關係圖(MAZDA 1.8)



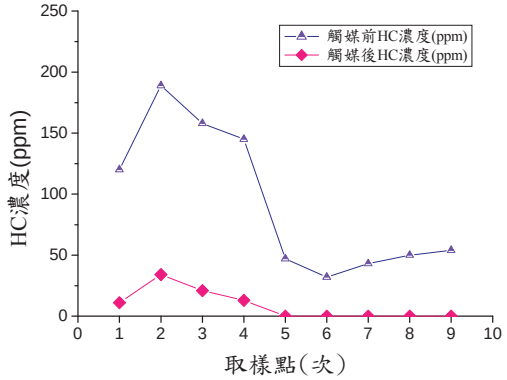
圖五 急加速與急減速下，引擎轉速與噴油脈寬變化關係圖(MAZDA 1.8)



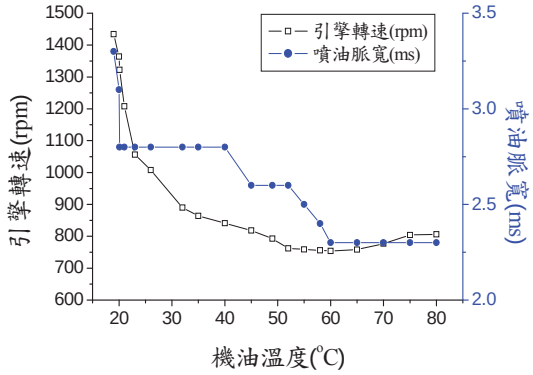
圖六 急加(減)速下，噴油脈寬與 SC duty %變化關係圖(MAZDA 1.8)



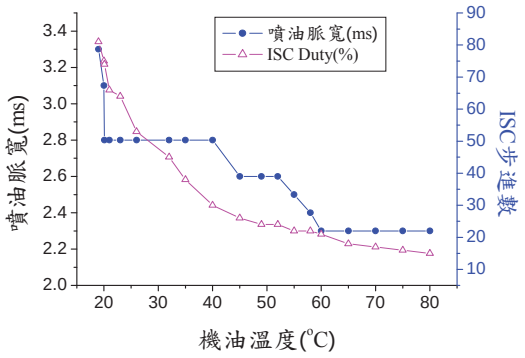
圖七 急加(減)速下，觸媒前後 CO 濃度變化關係圖(MAZDA 1.8)



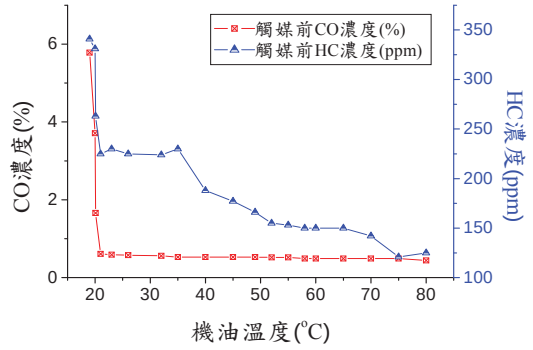
圖八 急加速與急減速下，觸媒前後 HC 濃度變化關係圖(MAZDA 1.8)



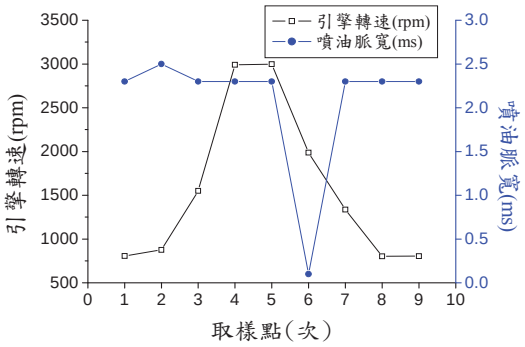
圖九 各機油溫度下，引擎轉速與噴油脈寬變化關係圖(三菱 1.6)



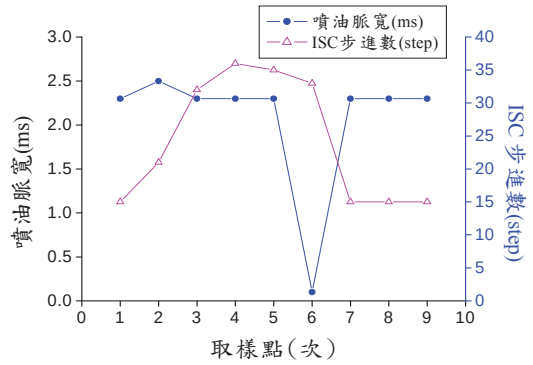
圖十 各機油溫度下，噴油脈寬與 ISC 進數變化關係圖(三菱 1.6)



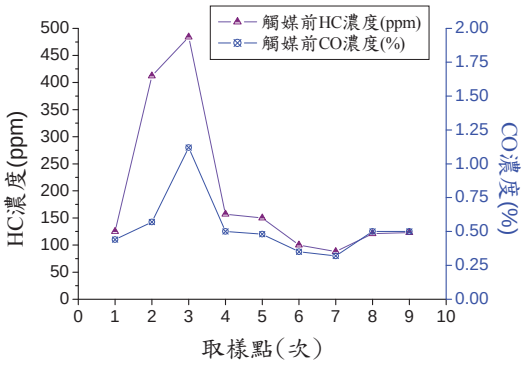
圖十一 各機油溫度下，觸媒前 CO 濃度與 HC 濃度變化關係圖(三菱 1.6)



圖十二 急加(減)速下，引擎轉速與噴油脈寬變化關係圖(三菱 1.6)



圖十三 急加(減)速下，噴油脈寬與 ISC 步進數變化關係圖(三菱 1.6)



圖十四 急加(減)速下，HC 濃度與 CO 濃度變化關係圖(三菱 1.6)

參考文獻

1. G. Kaiser, M. Zechnall and G. Plapp, 1998, “Closed Loop Control at Engine Management System MOTRONIC,” SAE.
2. R. Nishiyama, S. Ohkubo and S. Washino, 1989, “An Analysis of Controlled Factors Improving Transient A/F Control Characteristics,” SAE Paper No.890761.
3. P.C. Baruah, 1990, “A Simulation model for Transient Operation of Spark-Ignition Engine, “ *SAE Paper No*. 9006382.
4. M. Nasu, A. Ohata, and S. Abe, 1996, “Model-Based Fuel Injection Control System For SI Engines,” *SAE Paper No*. 961188.
5. L. L. Moyne and F. Maroteaux, 1997, ”Air-Fule Flow Modeling Applied to the Reduction of Air-Fuel Ratio Excursions During Transients on Port Injected S.I.Engines,” *SAE Paper No*. 970513.
6. I. Arsie, C. Pianese and G. Rizzo, 1998, ”Models for the Prediction of Performance and Emissions in a Spark Ignition Engine : A Sequentially Structured Approach”, *SAE Paper No*. 980779
7. T. Morel, R. Keribar, J. Silvestri and Syed Wahiduzzaman, 1999, ” Integrated Engine/Vehicle Simulation andControl,” *SAE Paper No*. 1999-01-0907.
8. K.S. Al-Olimat , A.A. Ghandakly and M.M. Jamali, 2000, “AdaptiveAir-Fuel Ratio Control of an SI Engine Using Fuzzy Logic Parameters Evaluation,” SAE Paper No. 2000-01-1246.
9. 林俊雄，1994，”四行程機車噴油引擎燃燒特性研究”，*國立成功大學機械工程研究所碩士論文*。
10. 簡錫新，1998，”小型引擎之引擎控制單元自動調校系統之發展”，第八屆國防科技學術研討會。
11. 黃靖雄，賴瑞海，1995，”電子控制汽油噴射裝置”，全華圖書公司。
12. 黃靖雄，賴瑞海，2006，”現代汽油噴射引擎”，全華圖書公司。
13. 筆耘，2007，”電腦噴射引擎”，松祿文化事業股份有限公司，2007。
14. 陳永昌，1989，"汽車引擎"，新科技圖書公司，1989。
15. 黃靖雄，1995，”現代低公害省油汽車-排氣汙染控制技術及裝置”，全華圖書公司。