

國內使用中柴油車氮氧化物排放水準之調查分析與診斷技術之研究

主持人曾全佑

共同主持人蔡建雄、楊榮華

國立屏東科技大學車輛工程系

摘要

本計畫主要針對本年度空污基金研究計畫”柴油車氮氧化物排放及改善技術之研究“的工作重點三，”探討有關柴油車氮氧化物排放減量技術“進行研究。計畫中共計四個目標與工作同時進行:

- 調查現行國內柴油車 NO_x 排放的水準，據以研擬使用中柴油車 NO_x 排放管制標準，作為政府擬定 NO_x 管制策略的參考。
- 以實車實驗配合理論分析，研究柴油車各種常發生之故障，對 NO_x 排放量之影響與關聯性。
- 研究柴油車擅調與氮氧化物關連性之分析，並研究建立擅調診斷技術，以便各縣市動力站對受檢車輛進行檢測前，能判斷該車是否已做過擅調動作。
- 發展柴油引擎噴油控制系統污染控制元件診斷技術與設備，以便協助車輛保養業者提升技術能力，於車輛定期保養能正確地診斷出噴油控制系統故障處。

Abstract

This project includes the following works:

1. To investigate the in-use diesel vehicle NO_x emission level in Taiwan, and then study the strategy on how to control it.
2. To develop an apparatus and technique to detect and diagnose the component faults in electronic-controlled diesel fuel pump. The basic idea is first to construct a controller consisted of a conventional PID feedback compensator and a feedforward compensator. Then, a neural network is designed to identify the component faults using a predetermined reference signal and the output signal from the feedforward compensator.
3. To develop a technology for the diagnosis of the hydraulic system of the diesel fuel injection system. The developed technology is proved very helpful to the diesel engine maintenance technician and EPA, with which the technician can easily find out the defects or mal-adjustment of the system. The developed technology can be used to find out if the maximum allowable injected fuel is mal-adjusted. This technique will be very helpful to prevent cheating in the diesel vehicle inspection at every inspection station around the island.
4. To investigate the relationships between the in-use diesel vehicle NO_x emission level and various component faults.

Key Words: Diesel Engine, Fault Diagnosis

一、前言

空氣中含有 NO_x 污染物對民眾健康是相當不好的，NO_x 會與光和碳氫化合物 (HC) 產生化學反應而生成臭氧，刺激肺部引起支氣管炎，氣喘，肺炎與呼吸系統之病變。另外，NO_x 也會形成酸雨。其中，NO 也會與血紅素結合，造成血液輸送氧氣之機能喪失，致使中樞神經機能降低，NO 與血紅素結合能力為 CO 血紅素結合能力的 1000 多倍，為氧血紅素結合能力的 30 多萬倍。近年來，國內學者的研究指出空氣中的一些污染物如 PM 或臭氧(O₃)有增高的情形，有可能是因為 NO_x(氮氧化合物)的排放所引起的。依照他們的估計，柴油車所排放的 NO_x 約佔所有污染源的 20% 以上。未來，2004 年開放柴油自小客車後將再進一步增加 NO_x 的排放，更加惡化空氣中的 NO_x 含量。

近年來，國內學者的研究指出空氣中的一些污染物如 PM 或臭氧有增高的情形，有可能是因為 NO_x(氮氧化合物)的排放所引起的。依照他們的估計，柴油車所排放的 NO_x 約佔所有污染源的 20%，所以柴油車 NO_x 的管制與其污染減量是刻不容緩的。環保署應將柴油車之 NO_x 排放管制列為重點工作項目。

使用中柴油車輛排放 NO_x 主要原因為柴油燃燒時熱量釋放率過高導致缸內氣體溫度與火焰的溫度過高，也就是說缸內的氮氣處於高溫，富氧與長的高溫滯留時間。而控制柴油 NO_x 排放量大小的參數有以下項目：引擎負荷、轉速、壓縮比、燃燒室之氣流運動狀態、過量空氣係數、柴油品質、噴油提前角、噴射泵之噴油量、噴油正時、以及噴油上升率。其中引擎負荷、轉速、壓縮比與燃燒室之氣流運動狀態為柴油引擎的特性，隨著車輛製造廠之設計特性而定。柴油品質則與車主所加的柴油有關，不在計畫之研究範圍。但是其餘的幾項參數則與噴射系統的故障或劣化息息相關，然而這些故障情形與 NO_x 排放的關聯性至今還沒被系統化的研究。因此，國內柴油車排放 NO_x 的成因到底是甚麼，並沒有被批露出來。所以，本計劃希望探討國內柴油車排放 NO_x 的主要原因和現行車輛排放 NO_x 的水準。

欲對使用中柴油車氮氧化物排放進行減量工作，應同時採用下列兩個方式互相搭配進行：

- (1) 實施檢驗制度：政府透過定期與不定期之檢驗方式，督促車主必須使車況保持正常以免因車輛故障導致排污。目前環保署正採用不定期檢驗方式管制黑煙排放量，未來將納入定期檢驗工作。以政府施政之角度觀之，未來欲對使用中柴油車氮氧化物排放進行定期檢驗工作，必須先制定排污管制標準以及檢測方式，而其先期工作為必須了解目前國內使用中柴油車氮氧化物之排放現況為何。
- (2) 借用民間力量，預防勝於管制：由於各縣市環保單位之柴油車動力檢測站之檢測能量畢竟有限，單靠政府之檢驗而進行排污減量之成效非常有限，若能規範車輛必須具備自我診斷系統，當發現污染控制元件劣化或故障導致排污惡化時，及

時警告車主必須進廠維修將為最佳。美國為最早實施此一概念者，美國聯邦政府規定自 1996 年開始，銷往全美之車輛必須配置符合 OBD-II 法規之污染控制元件自我診斷系統(簡稱為 OBD-II 系統)。由於我國並未實施此一法規，銷往國內之車輛大都沒有配置 OBD-II 系統，此一策略成效卓著，我國應該朝這個方向努力。然而，由於法律不溯既往，此一做法對目前使用中的四十多萬輛柴油車並無約束力。較為可行者，為積極輔導車輛保養業者具備技術能力，於車輛定期保養時能檢測出該車排污過高，且能正確地診斷出故障處而及早處理。

根據上述所提之方向，本計畫共計四個目標：

1. 調查現行國內柴油車 NO_x 排放的水準，據以研擬使用中柴油車 NO_x 排放管制標準，作為政府擬定 NO_x 管制策略的參考。
2. 以實車實驗配合理論分析，研究柴油車各種常發生之故障，對 NO_x 排放量之影響與關聯性。
3. 研究柴油車擅調與氮氧化物關連性之分析，並研究建立擅調診斷技術，以便各縣市動力站對受檢車輛進行檢測前，能判斷該車是否已做過擅調動作。
4. 發展柴油引擎噴油控制系統污染控制元件診斷技術與設備，以便協助車輛保養業者提升技術能力，於車輛定期保養能正確地診斷出噴油控制系統故障處。

根據前述之目標，本計畫之具體做法為本計劃之具體做法為：

1. 與各縣市所設之柴油車動力檢測站配合，取得 800 台以上柴油車輛之扭力，馬力，O₂，NO_x，CO，HC，CO₂，與黑煙之實測值。分析現行國內柴油車 NO_x 排放的水準，以作為政府擬定 NO_x 管制策略的參考。
2. 以實車進行實驗，系統化研究引擎或柴油噴射系統故障劣化情形對於 NO_x 排放與黑煙排放的關聯性。測試型態擬採用 CNS11645 全負載測試型態測試 NO_x，CO，HC，CO₂，空燃比，與黑煙值，透過設定噴射系統之各種故障來探討噴射系統故障時所引起的 NO_x 排放量與黑煙排放量之改變與關聯性。同時，以實車進行實驗，調整最大噴油量限制值(利用噴射泵油量限制螺絲來設定)並進行氮氧化物排放的量測，研究柴油車擅調與氮氧化物排放量之關係。
3. 研究建立柴油引擎高壓油管壓力波形的量測系統之可行性，量測油管當中波形的變化，然後利用該壓力波形，來判斷限制螺絲是否經過擅調。
4. 延續上年度計畫，針對使用中柴油引擎燃料噴射泵之電子控制系統，發展元件故障診斷技術

二、各項工作之成果

2.1 使用中柴油車 NO_x 排放水準與管制標準之研究

為了調查現行國內柴油車 NO_x 排放的水準，據以研擬使用中柴油車 NO_x 排放管制標準，作為政府擬定 NO_x 管制策略的參考，本計畫與各縣市所設之柴油車動力檢測站配合，取得 835 台以上柴油車輛之扭力，馬力，O₂，NO_x，CO，HC，CO₂，與黑煙之實測值。由於目前國內對於新車的管制法規(四期排放標準)是由車輛研究測試中心協助環保署規劃，柴油小客車開放進口後的排放標準也是由車輛研究測試中心來協助環保署擬定，但國內尚無使用中車輛 NO_x 的管制標準，故本計畫以使用中車輛的排氣管制為主，擬定合適的 NO_x 排放管制標準。重點放在如何利用現有的柴油車動力計排氣檢測站，來檢測使用中柴油車 NO_x 的排放濃度是否達管制標準。目前量測 NO_x 排放量的方法有重量法與濃度法兩種，因為重量法的檢測儀器只有像車輛研究測試中心或中油檢驗所之大型實驗室有重量法的檢測設備，而一般的動力站使用的檢測設備都為濃度法，因此，本計畫主要是以濃度法來規劃 NO_x 的管制標準。

本計畫所獲得之排氣動力站檢測 NO_x 排放量的柴油車相關排氣資訊是由碩傑廢氣分析儀(EGA-300 5 Gas analyzer)所量測到的結果，如附錄一所示。本計畫整個針對所示，有鑒於使用中的柴油車在進排氣動力站做排氣檢測時，部分柴油車會有擅條的情形，而影響了 NO_x 排出濃度的準確性。因此，我們於進行 NO_x 排放濃度分析時，主要是將所有量測到的結果另外在分成 3000c.c 以下的小型車和 3000c.c 以上的大型車，分別比較擅調對引擎在怠速、全負載 40%定轉速、全負載 60%定轉速、全負載 100%定轉速時檢測 NO_x 排放濃度的影響程度，進而找出適當的管制標準。

2.1.1.使用中柴油車 NO_x 排放水準分布現狀

圖 1.2 為使用中柴油車 NO_x 排放水準分布現狀，圖 1.2(a) 為怠速時 NO_x 的排放濃度分佈圖，由圖可看出在怠速時受測車輛的 NO_x 排放濃度比較低，主要都集中在 300ppm 以下的範圍。圖 1.2(b)為全負載 40%定轉速 NO_x 的排放濃度分佈圖，由圖可發現 NO_x 濃度的分佈較為分散，主要分布在 300ppm~1500ppm。圖 1.2(c)為全負載 60%定轉速 NO_x 的排放濃度分佈圖，主要範圍在 300ppm~1100ppm，比全負載 40%定轉速 NO_x 的排放濃度分佈稍微集中一些。圖 1.2(d)為全負載 100%定轉速 NO_x 的排放濃度分佈圖，由圖可看出受測車輛的 NO_x 濃度差異較大，主要範圍集中在 300ppm~900ppm 之間，最大超過 2300ppm 以上。

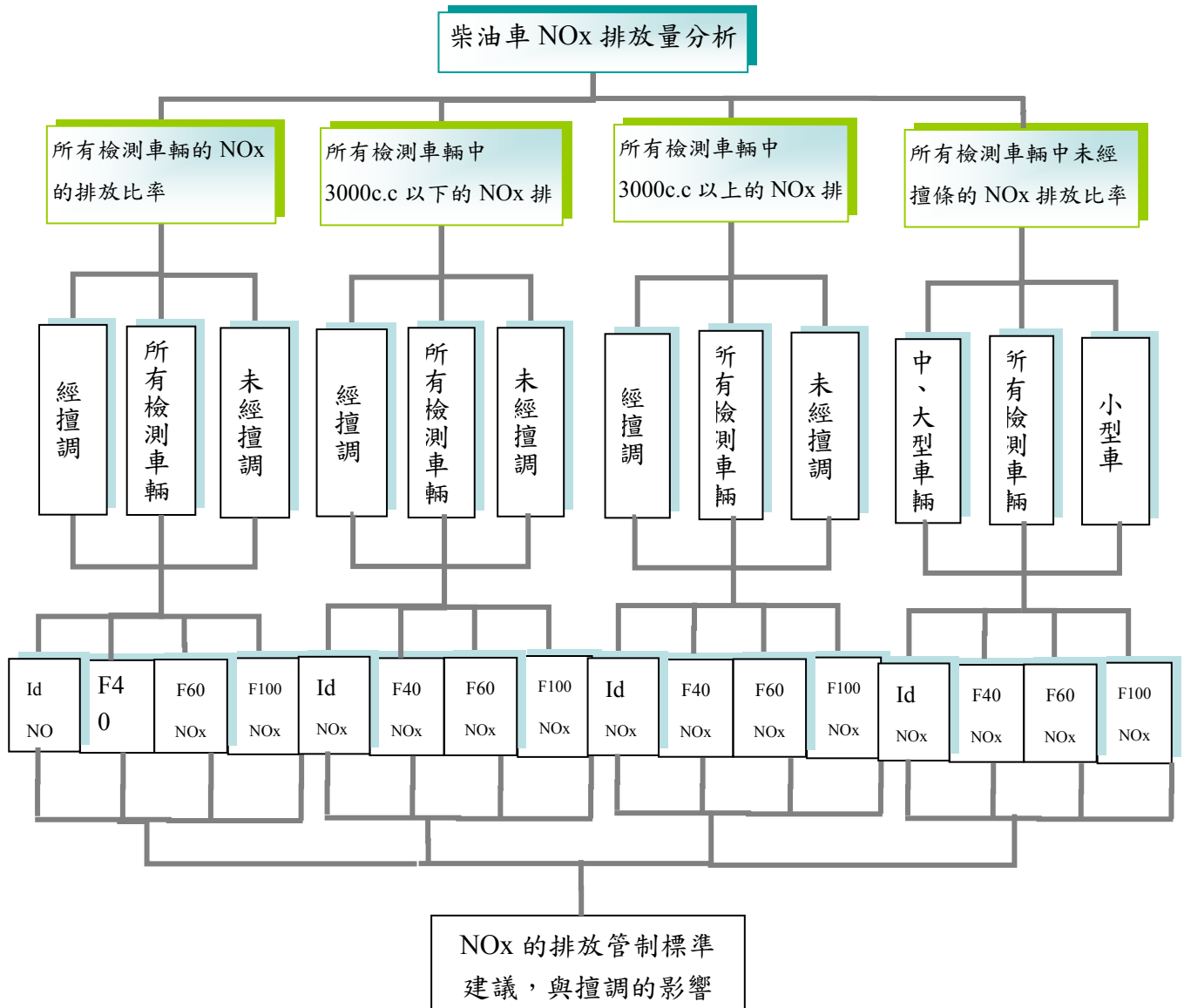


圖 1.1 柴油車 NOx 排放濃度分析的程序

2.1.2.擅調對 NOx 的影響

擅調意指柴油車主為了規避受罰，於檢測前先將柴油引擎噴射泵之最大噴油量減少，如此引擎輸出馬力將降低，且廢氣排量減少，通過檢測之後再將油量調回。自從環保署開始推動使用中柴油車動力站排煙檢測以來，柴油引擎最大噴油量設定螺絲的擅調一直是最為棘手的問題。因為它導致所檢測的數據失真，不僅無法確實反映出國內柴油車的黑煙排放水準，更重要的是大大折扣了黑煙管制的效果。回顧各縣市動力檢測站之不合格率變化趨勢，凡是第一年檢測之縣市不合格率都接近 30%-40%，例如嘉義市，屏東縣，花蓮縣，當該縣市執行一段期間後不合格率遍迅速下降至 10% 以下。此一現象表示民眾了解動力站檢測方式後，為了避免受罰，於接獲檢測通知之後，已經做了調修，而從馬力比之數據（大部分

受測車輛低於 0.3) 可知，這些調修大都為不正常調修。因此，民眾依然在道路上看到許多的烏賊車。更令人難以信服的是，這些烏賊車經過民眾檢舉之後，竟然都能通過動力站排煙檢測。當然，這有可能是受到通知到檢的車輛，在進入檢測站之前，確實有進行保養維修。但是，一般相信，有許多的車子是在擅調的情況之下而通過檢測的。為了探討擅調對 NO_x 之影響，我們以馬力比作為篩選之原則，在 835 輛次中，設定引擎的最大馬力未達到額定馬力的 30% 為經過擅調的車輛，共佔有 463 輛次，**圖 1.3** 為這些車輛 NO_x 排放水準之分佈情形。**圖 1.3(a)** 為怠速時 NO_x 的排放濃度分佈圖，由圖可看出經擅調過後的車輛在怠速時受測車輛的 NO_x 排放濃度一樣很低，主要還是都集中在 300ppm 以下的範圍，因此擅調對引擎怠速之 NO_x 排放濃度並無影響。

。**圖 1.3(b)** 為全負載 40% 定轉速經擅調後 NO_x 的排放濃度分佈圖，由圖可發現 NO_x 濃度的分佈較為分散，主要分布在 300ppm~1300ppm。**圖 1.3(c)** 為全負載 60% 定轉速經擅調後 NO_x 的排放濃度分佈圖，主要範圍在 300ppm~1100ppm，比全負載 40% 定轉速 NO_x 的排放濃度分佈稍微集中。**圖 1.3(d)** 為全負載 100% 定轉速經擅調後 NO_x 的排放濃度分佈圖，由圖可看出受測車輛的 NO_x 濃度差異較大，主要範圍集中在 300ppm~700ppm 之間。由此可知，進行全負載檢測實，經過擅調過的車輛在 NO_x 的排放濃度上確實較一般未經擅調的車輛低。

2.1.3. 擅調對不同排氣量車輛 NO_x 排放的影響

因為 3000 c.c 以下之小型柴油車噴射泵構造與 3000 c.c 以上之中、大型柴油車不同，因此我們將受檢測車輛的排氣量以 3000 c.c 為分界點。分別探討 3000 c.c 以下與 3000 c.c 以上的柴油車，分析這兩種不同排氣量的擅調情形對 NO_x 排放濃度的影響情況。

(1) 3000c.c 以下車輛擅調對 NO_x 排放濃度分佈的影響：

圖 1.4 之 3000c.c 以下柴油車，經擅調後 NO_x 排放量濃度百分比累計趨勢圖，可明顯地發現 3000c.c 以下車輛擅調的情況，不論是在怠速、全負載 40% 定轉速、全負載 60% 定轉速、全負載 100% 定轉速這 4 種不同情況下，對於車輛是否經過擅調，其對 NO_x 排放濃度分佈的影響都不大，其中，又以全負載檢測時影響最小，大概在 900ppm 以上，幾乎不受影響。原因在於因為 3000c.c 以下大都為輕型柴油車，通常使用間接噴射式引擎(IDI)，此種引擎燃燒溫度低，因此，NO_x 的排放濃度較低。以合格率觀之，若以全負載 100% 定轉速檢測 NO_x，並設定 700ppm 以下為標準，則無論引擎是否經過擅調平均大概都有 70% 的合格率。在怠速檢測 NO_x 的排放濃度時，若以 300ppm 以下為標準，則無論引擎是否經過擅調大概都有 90% 的合格率。

(2) 3000c.c 以上車輛擅調對 NO_x 排放濃度分佈的影響：

由**圖 1.5** 之 3000c.c 以上柴油車，經擅調後 NO_x 排放量濃度百分比累計趨勢圖，可清楚地看出，3000c.c 以上車輛擅調的情況對 NO_x 排放濃度除了在怠速檢測時

影響不大外，其餘在全負載 40%定轉速、全負載 60%定轉速、全負載 100%定轉速這 3 種不同情況下，對於 NO_x 排放濃度分佈的影響則較大，其中，又以全負載檢測時影響最大，範圍大概在 300ppm~2300ppm 之間。原因在於因為，3000c.c 以上大都為中、重型柴油車，通常裝有渦輪增壓且使用直接噴射式引擎(DI)，此種引擎燃燒溫度較高，導致 NO_x 的排放量較 3000c.c 以下的小型柴油車高。以合格率觀之，在怠速檢測 NO_x 的排放量時，若以 300ppm 以下為標準，則無論引擎是否經過擅調大概有 85%以上的合格率，比 3000c.c 以下的輕型柴油車略低大概 5%的合格率。若以全負載 100%定轉速檢測 NO_x，並設定 1000ppm 以下為標準，則經擅調過的柴油車大概有 80%的合格率，未經擅調的柴油車大概只有 65%的合格率，兩者相差約有 15%的合格率。

由上述兩者的比較，得知 3000c.c 以下的輕型柴油車其 NO_x 的排放濃度分不較不受擅調的影響，且 NO_x 的排放量也較低，而 3000c.c 以上的中、重型柴油車其 NO_x 的排放濃度分佈，除了在怠速檢測時較不受擅調影響外，其餘受擅調的影響則較大，且 NO_x 的排放濃度也較高。因此，如圖 1.6 所示為綜合所有排氣量的柴油車其擅調對 NO_x 排放濃度分佈的影響，在怠速檢測 NO_x 的排放濃度時，若以 300ppm 以下為標準，則無論引擎是否經過擅調大概有 85%以上的合格率，若以全負載 100%定轉速檢測 NO_x 設定 1000ppm 以下為標準，則經擅調過的柴油車大概有 85%的合格率，未經擅調的柴油車大概只有 73%的合格率。這些分析將可提供研擬使用中柴油車 NO_x 排放濃度管制標準之參考。

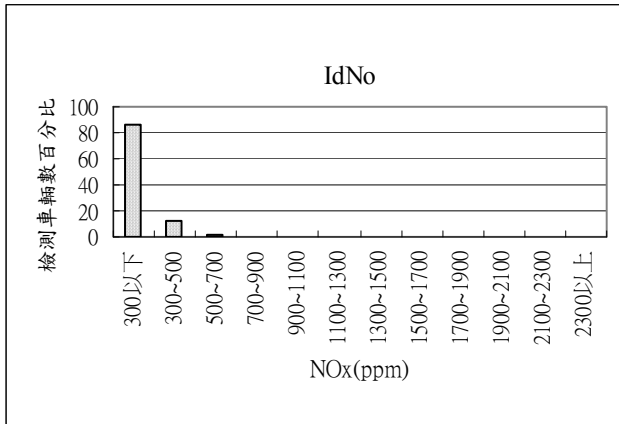
2.1.4. 未擅調對不同排氣量車輛 NO_x 排放量之影響

將受檢測車輛排氣量以 3000c.c 為小型車與中、大型車之分界點，分別探討 3000c.c 以下與 3000c.c 以上的柴油車，分析這兩種不同排氣量在未經擅調的情況下對 NO_x 排放濃度的影響情形。圖 1.7 為檢測車輛中未經擅調時 NO_x 排放濃度百分比累計趨勢圖，由圖中統計結果可清楚的發現無論是 3000c.c 以下的小型車或 3000c.c 以上的中、大型車在怠速檢測 NO_x 的排放量時幾乎都差不多且排放量都非常的低，但在全負載 40%定轉速、全負載 60%定轉速和全負載 100%定轉速這三種不同的檢測情況下，3000c.c 以下和 3000c.c 以上柴油車 NO_x 的排放量就顯然有很大的差異，3000c.c 以上的中大型柴油車 NO_x 的排放量明顯就高的許多。3000c.c 以下的小型柴油車在全負載 40%定轉速、全負載 60%定轉速與全負載 100%定轉速三種不同檢測條件下，NO_x 的排放量幾乎都差不多，但 3000c.c 以上的中大型柴油車就明顯的不同，如圖 1.8 所示。其中以全負載 40%定轉速所量測的 NO_x 排放量最高，其原因在於全負載 40%定轉速檢測時引擎處於高溫、高壓的狀態下而導致 NO_x 的排放量較高。因此，只要以全負載 40%定轉速檢測 NO_x 的排放量是否超過排放標準值，即可同時包含怠速、全負載 60%定轉速，全負載 100%定轉速的 NO_x 排放量。

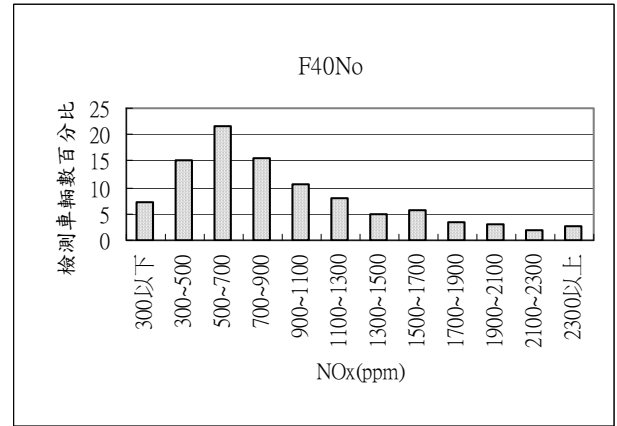
2.1.5 NOx 排放管制標準建議

在檢測柴油車 NOx 的排放量時，建議先檢測柴油車引擎馬力是否達額定馬力的 30% 之上，來作為判斷檢測車輛是否經過擅調的動作。若未達額定馬力的 30% 以上，則判定該車企圖以擅調來逃避檢測的準確性，直接判定該車未達管制標準。換言之，只有通過馬力檢測達額定馬力的 30% 以上才有資格進行 NOx 的排放量檢測。因此，擬定的 NOx 檢測標準以未經擅調的車輛為主。以下為擬定 NOx 管制標準之建議：

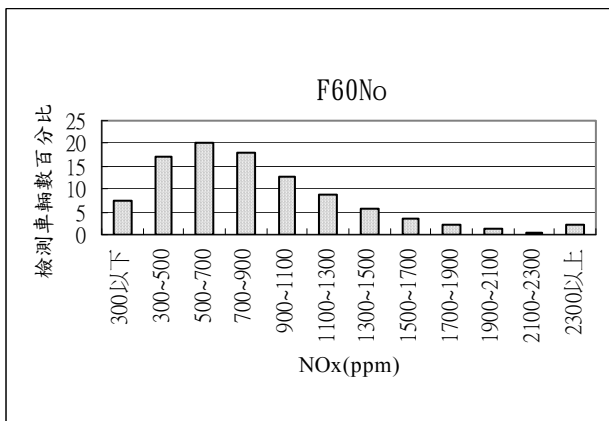
1. 3000c.c 以下的輕型柴油車其 NOx 的排放濃度較不受擅調的影響，且 NOx 的排放量也較低，而 3000c.c 以上的中、重型柴油車其 NOx 的排放濃度分佈，除了在怠速檢測時較不受擅調影響外，其餘受擅調的影響則較大，且 NOx 的排放濃度也較高。
2. 無論中、大型車或小型車在怠速檢測 NOx 的排放量時，無論是否有經擅調其 NOx 的排放量都很低，因此，無須做怠速 NOx 的排放檢測。
3. 因為在全負載 40% 定轉速下所檢測 NOx 的排放量最高，也就說全負載 40% 定轉速 NOx 的排放量以包含了怠速、全負載 60% 定轉速和全負載 100% 定轉速的排放量。因此，以全負載 40% 定轉速的條件下，來擬定 NOx 的排放標準較適當。
4. 從全負載 40% 定轉速下 NOx 的排放情形來看，可發現 3000c.c 以下的柴油車與 3000c.c 以上的柴油車，其 NOx 排放的分佈有很大的差異，如圖 1.7(b)。因此建議必須分別擬定 3000c.c 以下與 3000c.c 以上兩種不同的 NOx 排放標準，以符合最佳的管制效果。
5. 建議以年減量 NOx 排放數量的總數為標準，來制定 NOx 排放的管制標準。因此，首先必須先要規劃每年預定減量 NOx 排放之的合理數量。但因這個部分牽扯的因素複雜且不在本計畫執行的範圍內，因此，無法得之適當的減量數。假設若已知減量數，則可經由欲減量數來推算 NOx 的排放管制標準。而在制定管制標準時，則必須要注意檢測的合格率與 NOx 排放標準，這兩個問題是互相矛盾的關係，因為所檢測的柴油車皆為現行使用中得柴油車，若標準定得太過嚴苛，使得 NOx 檢測合格率太低，將導致車主的反彈，且間接的影響了社會經濟的成長與工業的衝擊。反之，若標準定的過於寬鬆，將達不到管制效果，使得空氣污染日漸惡化，影響環境與人體健康。本計畫之成果將可提供未來制定管制策略之參考。



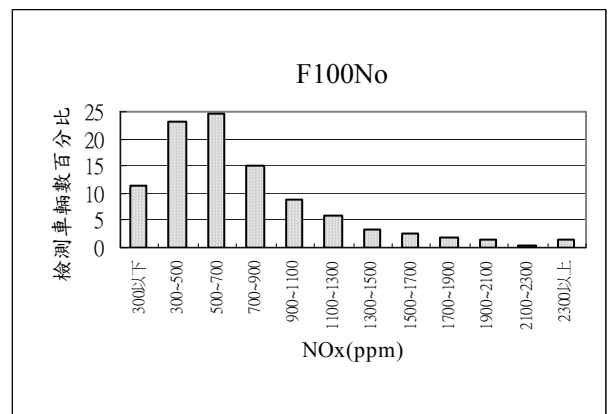
(a) 怠速時的 NOx 濃度分佈



(b) 全負載 40%定轉速的 NOx 濃度

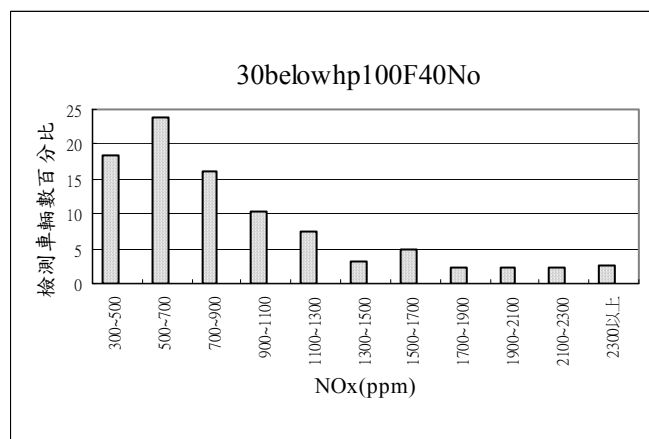
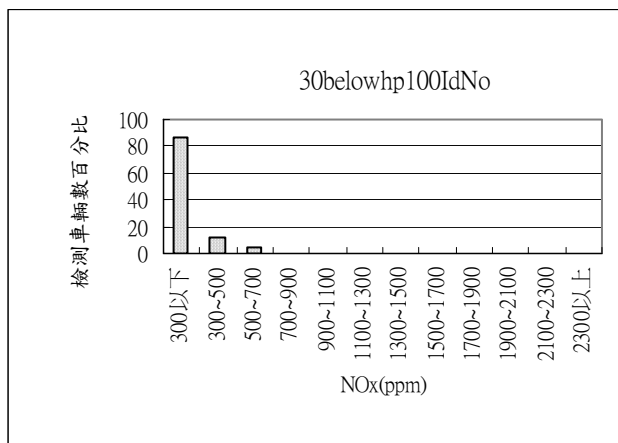


(c) 全負載 60%定轉速的 NOx 濃度



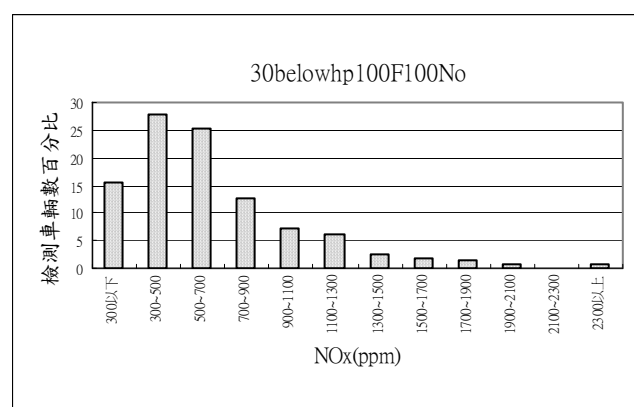
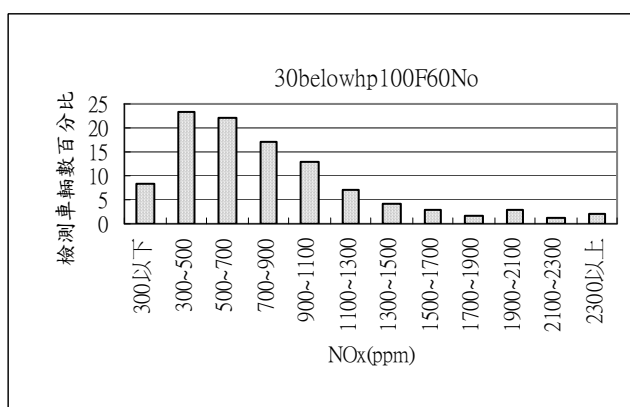
(d) 全負載 100%定轉速的 NOx 濃度

圖 1.2 使用中柴油車 NO_x 排放水準分布現狀



(a) 經擅調車輛怠速時的 NOx 濃度分佈

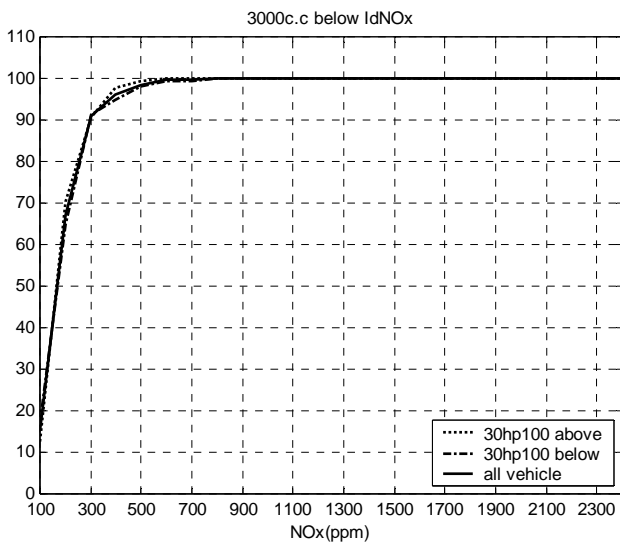
(b) 擅調車輛全負載 40% 定轉速的 NOx 濃度分佈



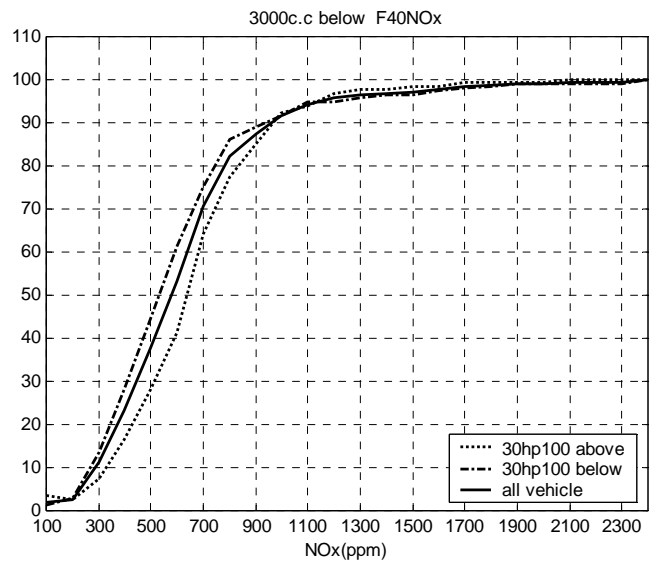
(c) 擅調車輛全負載 60% 轉速的 NOx 濃度分佈

(d) 擅調車輛全負載 100% 轉速的 NOx 濃度分佈

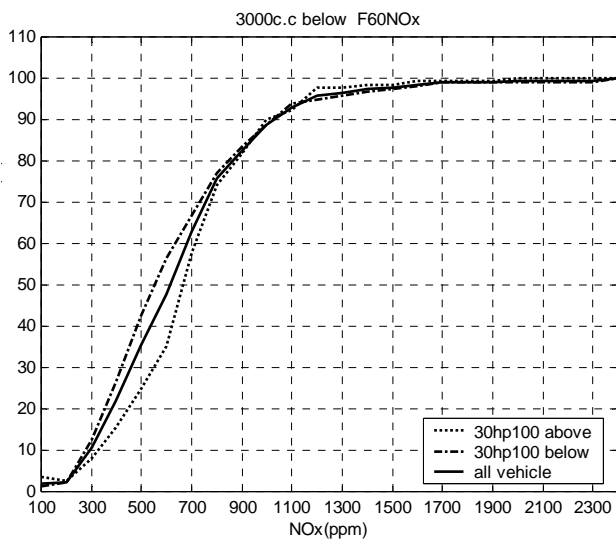
圖 1.3 擅調對 NOx 排放之影響



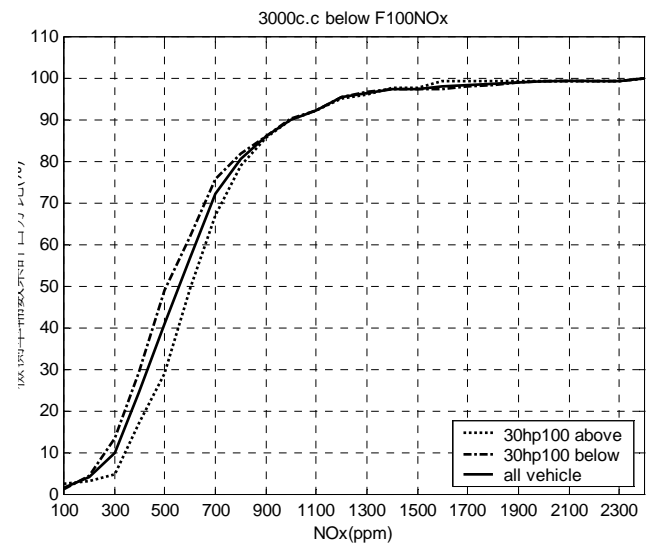
(a)怠速檢測 NOx 濃度百分比累計趨勢圖



(b)全負載 40%定轉速檢測 NOx 濃度百分比累計趨勢圖

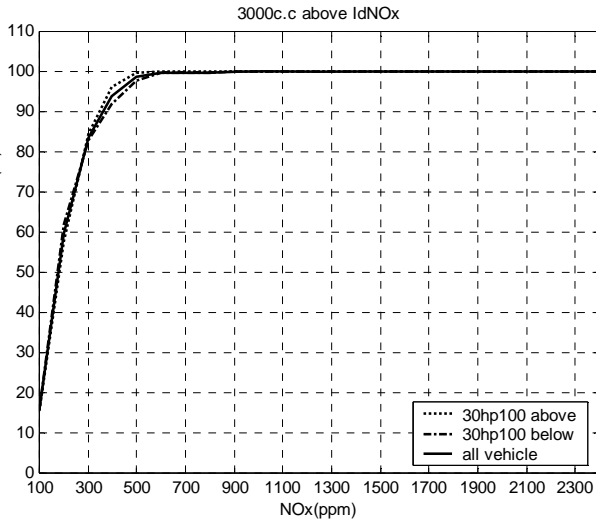


(c)全負載 60%定轉速檢測 NOx 濃度百分比累計趨勢圖

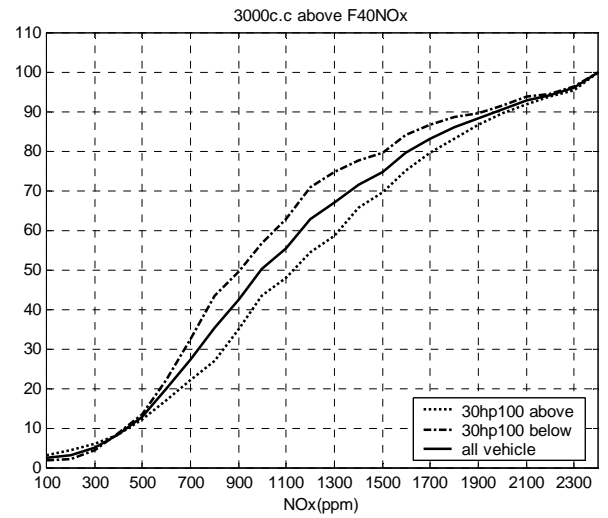


(d)全負載 100%定轉速 NOx 濃度百分比累計趨勢圖

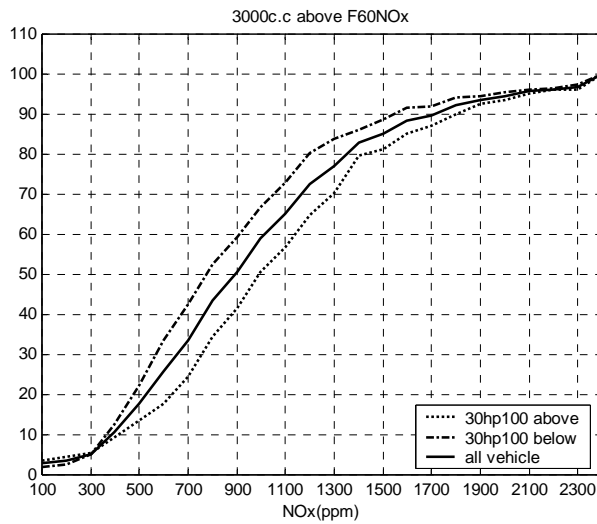
圖 1.4 3000c.c 以下柴油車，經擅調後 NOx 排放量濃度百分比累計趨勢圖。橫軸為 NOx 的排放量，縱軸為檢測車輛數累計百分比。



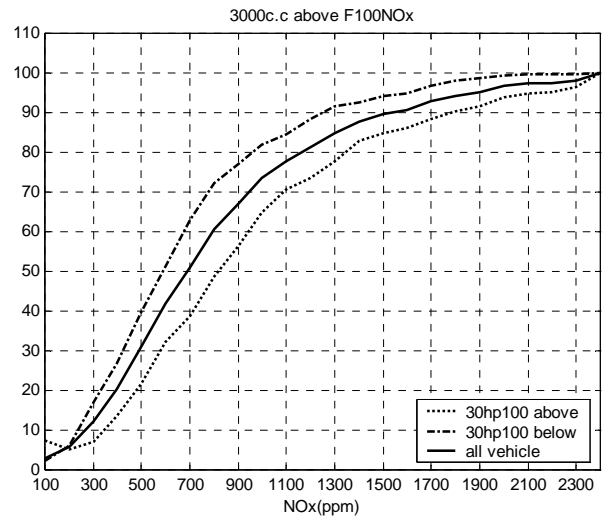
(a) 怠速檢測 NOx 濃度百分比累計趨勢圖



(b) 全負載 40% 定轉速檢測 NOx 濃度百分比累計趨勢圖

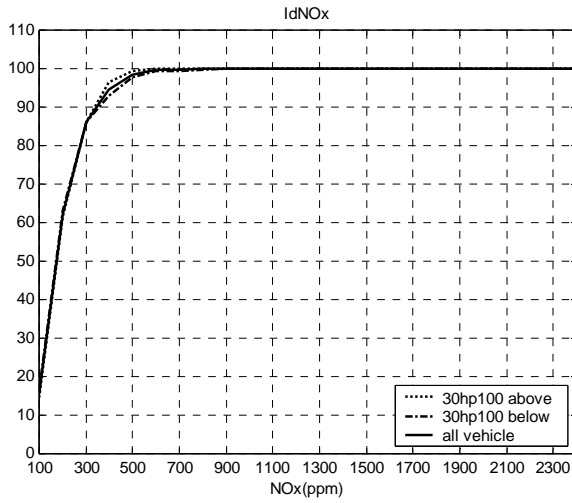


(c) 全負載 60% 定轉速檢測 NOx 濃度百分比累計趨勢圖

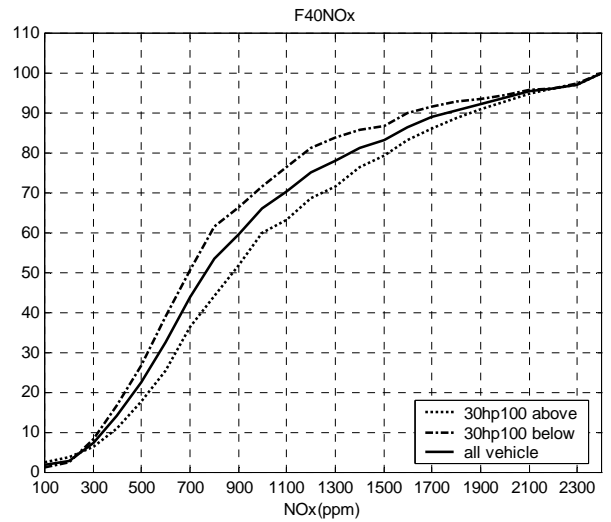


(d) 全負載 100% 定轉速 NOx 濃度百分比累計趨勢圖

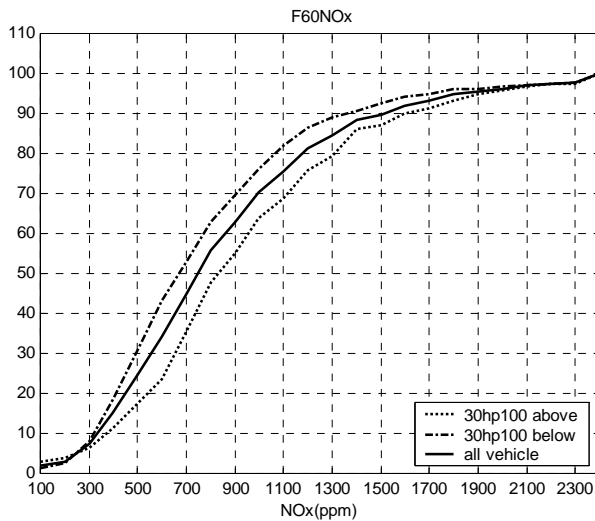
圖 1.5 3000c.c 以上柴油車，經擅調後 NOx 排放量濃度百分比累計趨勢圖。橫軸為 NOx 的排放量，縱軸為檢測車輛數累計百分比。



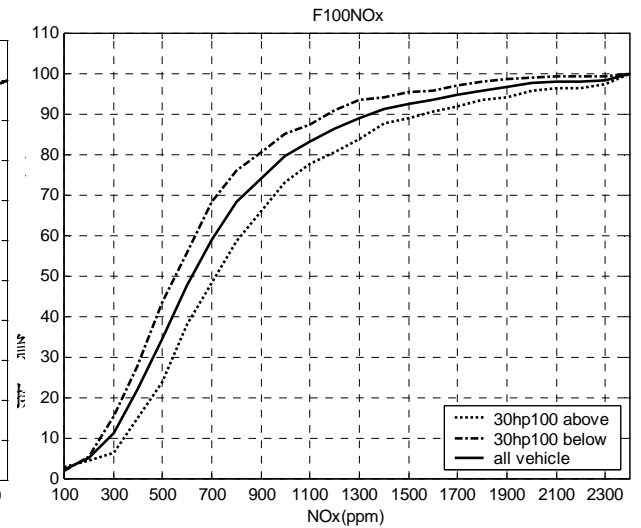
(a)怠速檢測 NOx 濃度百分比累計趨勢



(b)全負載40%定轉速檢測 NOx 濃度百分比累計趨勢圖

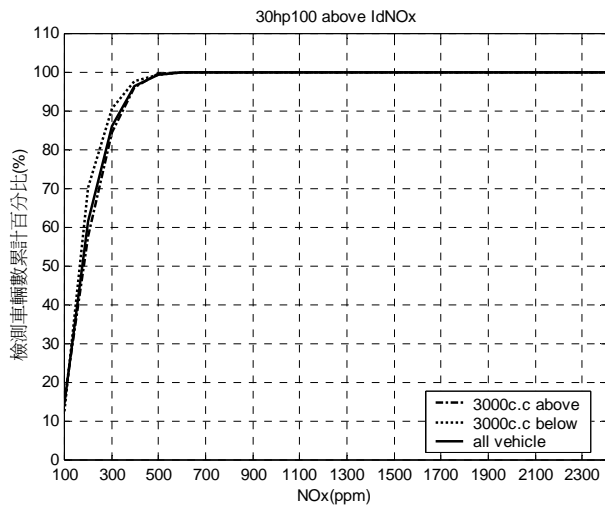


(c)全負載60%定轉速檢測 NOx 濃度百分比累計趨勢圖

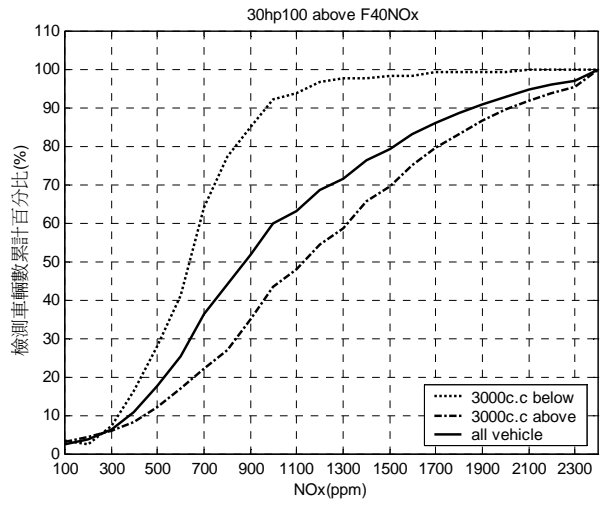


(d)全負載100%定轉速 NOx 濃度百分比累計趨勢圖

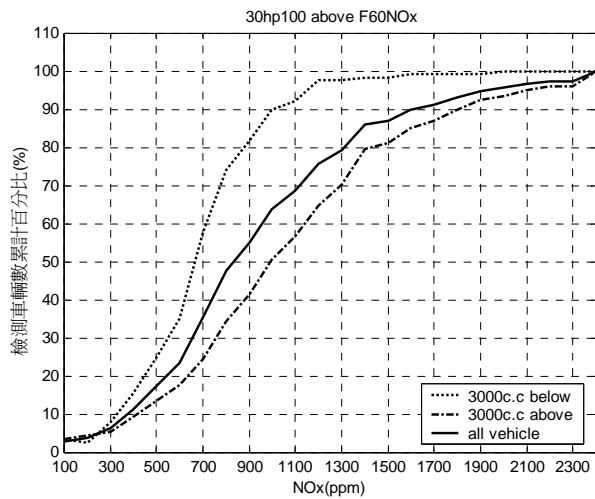
圖 1.6 全車種柴油車，經擅調後 NOx 排放量濃度百分比累計趨勢圖。橫軸為 NOx 的排放量，縱軸為檢測車輛數累計百分比。



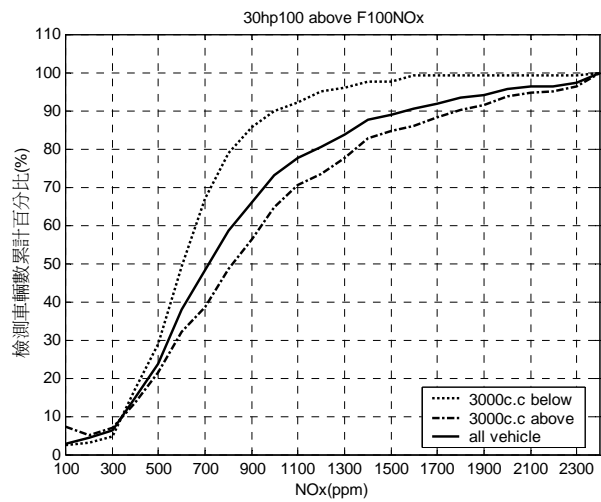
(a) 怠速檢測 NOx 濃度百分比累計趨勢圖



(b) 全負載 40%定轉速檢測 NOx 濃度百分比累計趨勢圖



(c) 全負載 60%定轉速檢測 NOx 濃度百分比累計趨勢圖



(d) 全負載 100%定轉速檢測 NOx 濃度百分比累計趨勢圖

圖 1.7 所有檢測車輛中，未經擅調的 NOx 排放濃度百分比累計趨勢圖。橫軸為 NOx 的排放量，縱軸為檢測車輛數累計百分比。

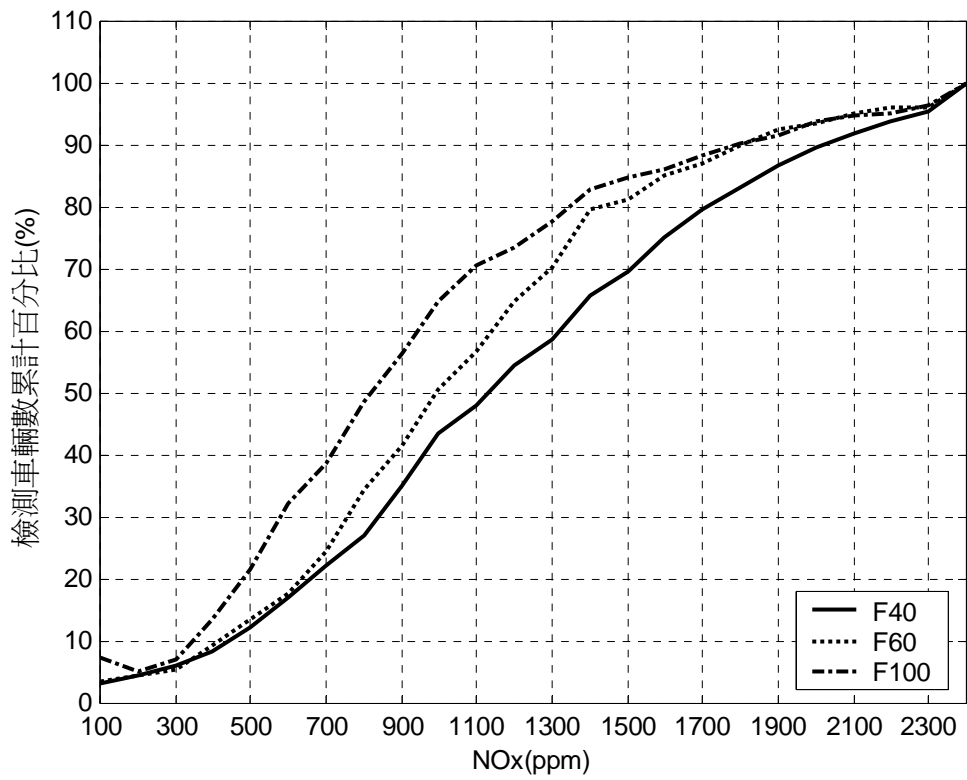


圖 1.8 3000c.c 以上柴油車在三種不同檢測條件下 NOx 排放濃度百分比累計趨勢比較圖。橫軸為 NOx 的排放量，縱軸為檢測車輛數累計百分比。

2.2 柴油車調診斷方法之研究

2.2.1 實驗方法

本計畫以『裕隆 YLN261DL, 2446 c.c.』車型(如圖 2.1)所配備之『Diesel KiKi NP-VE4/10F2150RNP145 噴射泵』(如圖 2.2)為實驗本體。過程中，使用 PCB 108A102 為壓力感測元件(如圖 2.3)，與一部安裝 LabView 7.1 的電腦，且配有 NI_PCI-6024E 訊號擷取卡做第一缸噴油壓力的擷取，其架構圖如圖 2.4 所示。



圖 2.1 裕隆 YLN261DL



圖 2.2 Diesel KiKi
NP-VE4/10F2150RNP145
噴射泵

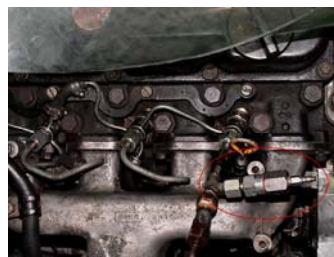


圖 2.3 PCB 108A102

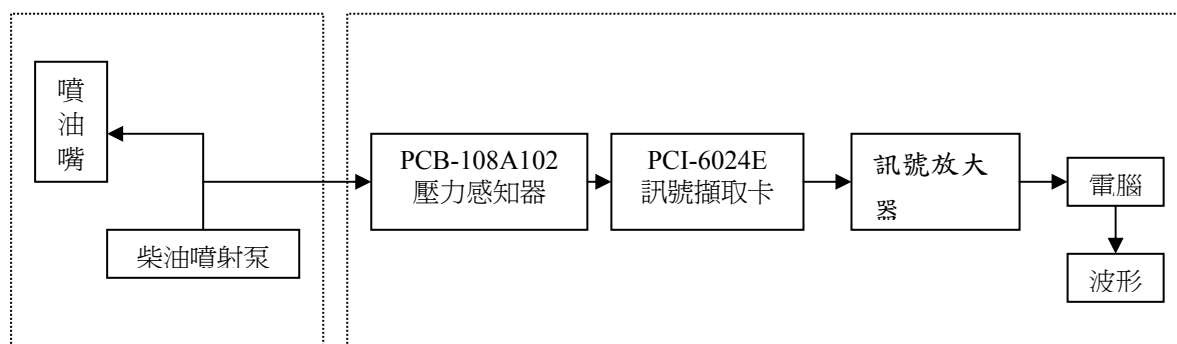


圖 2.4 實驗架構圖

擷取資料的狀況有 12 種，分別為未調整前 (Normal) 的狀況、將調整螺絲往減油方向旋轉 1/8 圈~8/8 圈，及往增油方向旋轉 1/8 圈~3/8 圈。模擬時將油門踏板踩到底 (最大噴油量)，並將車速則利用動力試驗機限制在 20km/hr 以下，變速箱檔位置於 4 檔，達到重負荷全負載的行駛狀況，如此便可以較完整的檢測出最大噴油量的特性。資料擷取卡的取樣頻率設為 500k Hz。並將擷取出來的數據使用 LabView 7.1 繪出，再選取出一完整的波形做為分析之用。

本實驗以 Neural Network 之架構來做差異性之判別及分析，並利用 Back Propagation 法來調整輸入之權重值 (Weightings)，使得權重值能收斂至輸出目標值所需之數值。神經層共分為三層，即輸入層 (Input layer)、輸出層 (Output layer)、及隱藏層 (Hidden layer)，輸出層只用一神經元當輸出訊號，輸入層有三個神經元，分別為壓力波形的積分值， $U_1 = \int_0^t p(t)dt$ 、最大壓力與最小壓力之

差值， $U_2 = MAX[p(t)] - MIN[p(t)]$ 、壓力波形的積分值與壓力波最大值之比值，

$$U_3 = \frac{\int_0^t p(t)dt}{MAX[p(t)]} ; \text{而隱藏層則包含 } m \text{ 個神經元。} U_1 \text{ 為最大噴油量的特性，當最}$$

大噴油量調整螺絲經調整之後，其最大噴油量即被改變，因此在一個噴油的任務中，噴油量就會有差異； U_2 為噴油壓差的特性，經調整後的最大噴油量之最高壓力與最低壓力，會因最大噴油量的改變，也會產生差異，以此做為第二項特徵； U_3 代表噴油的平均時間，最大噴油量不同其噴油的平均時間也會有差異，此為第三項特徵。輸出層之神經元輸出函數定義為：

$$f_1(\bar{x}) = \frac{e^{a\bar{x}} - e^{-a\bar{x}}}{e^{a\bar{x}} + e^{-a\bar{x}}}$$

$$\bar{x} = \sum_{j=1}^m \bar{\omega}_j x_j$$

其中 $\bar{\omega}_j$ ， $j=1, \Lambda, m$ 為由隱藏層輸出至輸出層之權重值。 a 為一正常數。同理，隱藏層之輸出函數亦設為：

$$f_2(\alpha_j) = x_j(\alpha_j) = \frac{e^{b\alpha_j} - e^{-b\alpha_j}}{e^{b\alpha_j} + e^{-b\alpha_j}} \quad j=1,2,\Lambda, m$$

$$\alpha_j = \sum_{i=1}^3 \omega_{ij} U_i \quad j=1,2,\Lambda, m$$

其中 ω_{ij} ， $i=1,2,3$ 、 $j=1,2,\Lambda, m$ ，為輸入神經元至隱藏層神經元之權重值， b 為一正常數。而權重值之學習則利用 Gradient method 方式來調整，其調整方式如下：

$$\delta_j = -\eta_1 f_1(\bar{x}) \frac{d}{dt} f_1(\bar{x}) \cdot x_j = -\eta_1 f_1(\bar{x})(1+f_1(\bar{x}))(1-f_1(\bar{x}))x_j \quad j=1,2,\Lambda, m$$

$$\delta_{ij} = -\eta_2 f_1(\bar{x})(1+f_1(\bar{x}))(1-f_1(\bar{x}))(1+f_2(\alpha_i))(1-f_2(\alpha_i))\bar{\omega}_j U_j \quad i=1,2,3 ;$$

$$j=1,2,\Lambda, m$$

實驗的目標是希望能訓練此類神經網路，藉由調整權重至適當值，而使得當未調整之噴射泵測量值 U_1 、 U_2 、 U_3 輸入時，使神經網路輸出為零，而調整過之噴射泵測量值輸入時，神經網路輸出為 1，圖 2.5 為此神經網路之架構。

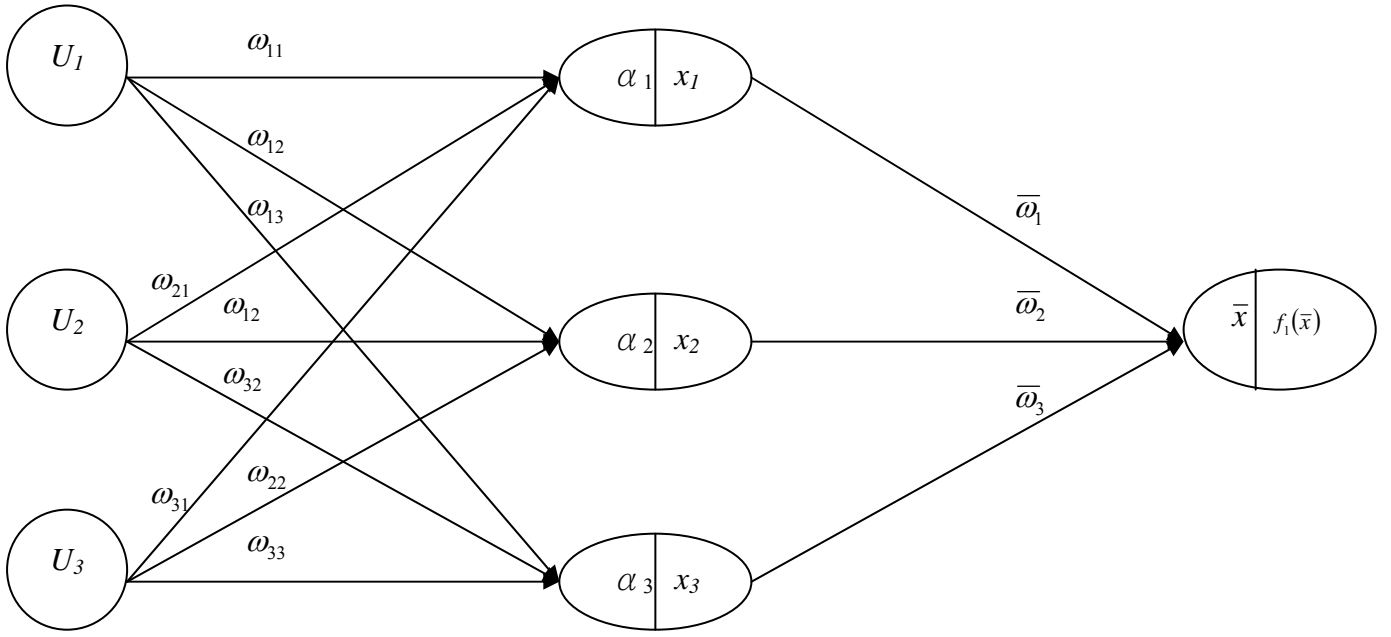


圖 2.5 Neural Network 架構圖

$$U_1 = \int_0^t p(t) dt$$

$$U_2 = \text{MAX}[p(t)] - \text{MIN}[p(t)]$$

$$U_3 = \frac{\int_0^t p(t) dt}{\text{MAX}[p(t)]}$$

$$y = f(\bar{x}) = \frac{e^{3\bar{x}} - e^{-3\bar{x}}}{e^{3\bar{x}} + e^{-3\bar{x}}}$$

$$f(x_i) = \frac{e^{3x_i} - e^{-3x_i}}{e^{3x_i} + e^{-3x_i}}$$

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^3 \bar{\omega}_i x_i$$

$$x_i = \frac{e^{3\alpha_i} - e^{-3\alpha_i}}{e^{3\alpha_i} + e^{-3\alpha_i}}$$

$$\alpha_i = \sum_{j=1}^3 \omega_{ij} U_j$$

$$f'(\bar{x}) = (1 + f(\bar{x}))(1 - f(\bar{x}))$$

$$\delta_i = -\eta_1 f(\bar{x}) \frac{df(\bar{x})}{d\bar{x}} x_i = -\eta_1 f(\bar{x})(1 + f(\bar{x}))(1 - f(\bar{x})) x_i$$

$$\alpha_j = -\eta_2 f(\bar{x}) f'(x_i) x_i = -\eta_2 f(\bar{x})(1+f(\bar{x}))(1-f(\bar{x}))(1+f(x_i))(1-f(x_i)) \bar{\omega}_i U_j$$

由以上的架構圖知道，將未調整時的三項噴油波形的特徵做為輸入訊號，再由以上所列的運算法則，求出當輸出值 y 趨近於零時之各權衡值 $\bar{\omega}_i$ 及 ω_{ij} ；經調整過的數據同樣以此運算方法代入運算，唯一不同的是，其權衡值必須代入未調整時所學習出來的值，其輸出值 y 在經過調整的數據代入運算之後，必定會產生一個不同於未調整的數據所到的輸出值 y ，如此便可判定是否有擅調的情形。

以下圖 2.6 到圖 2.17，表示未調整與各種調整情形之訊號擷取波形。

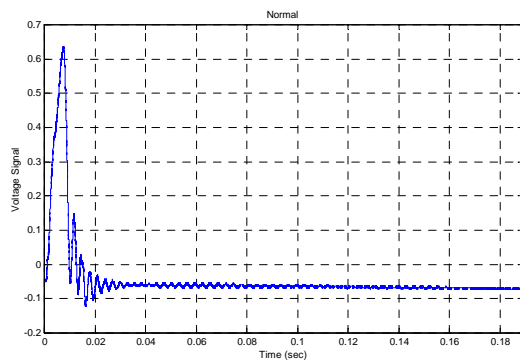


圖 2.6 未調整圖

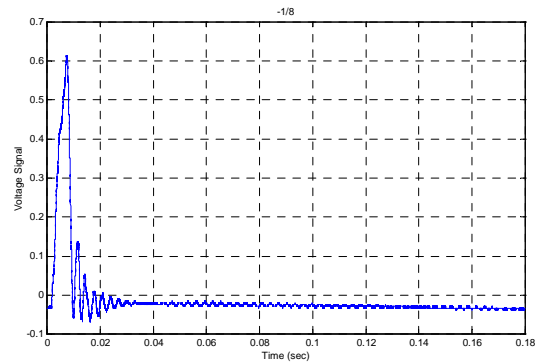


圖 2.7 減油八分之一圈

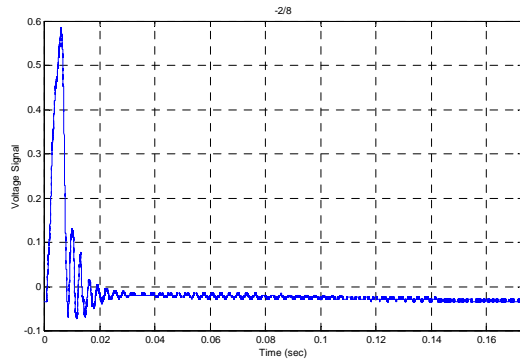


圖 2.8 減油八分之二圈

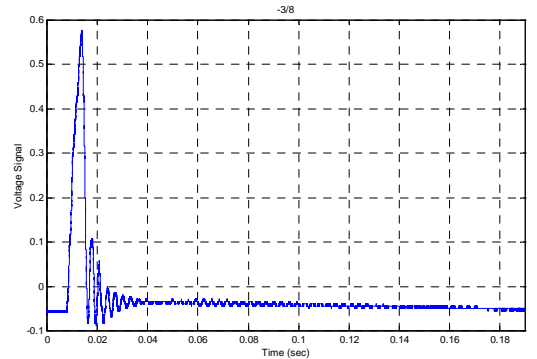


圖 2.9 減油八分之三圈

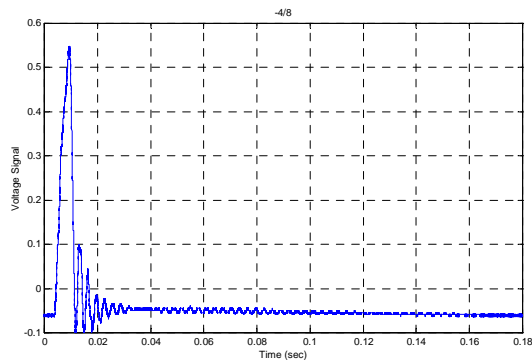


圖 2.10 減油八分之四圈

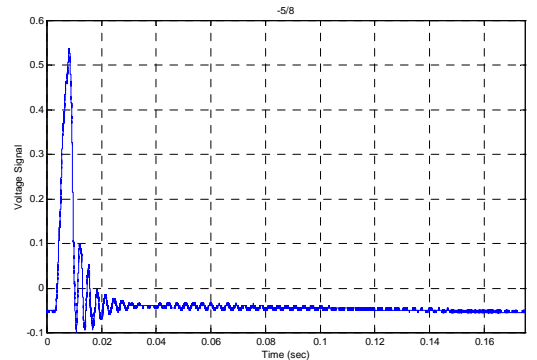


圖 2.11 減油八分之五圈

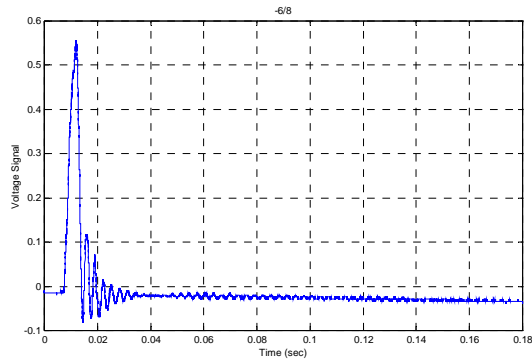


圖 2.12 減油八分之六圈

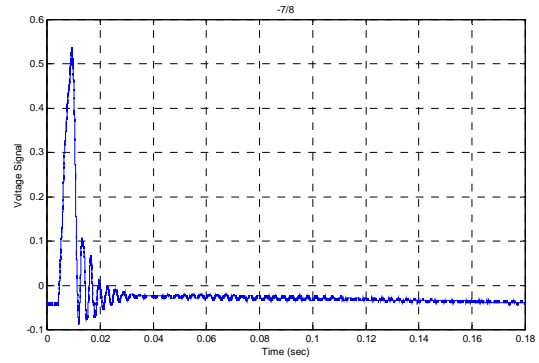


圖 2.13 減油八分之七圈

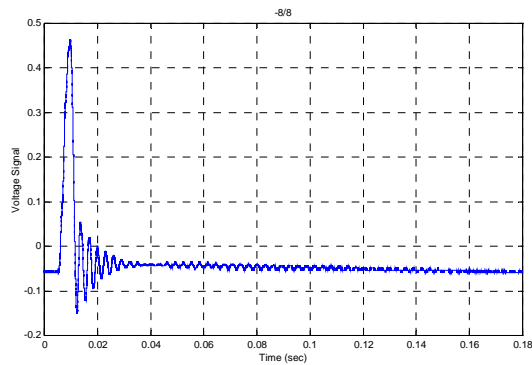


圖 2.14 減油八分之八圈

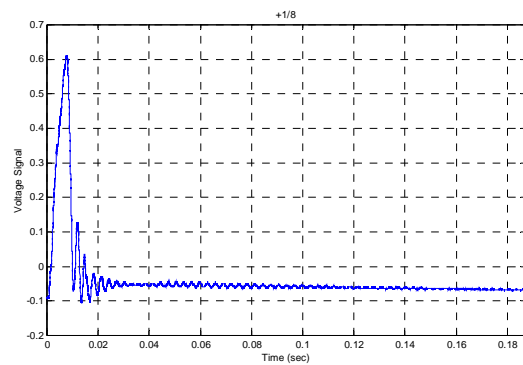


圖 2.15 增油八分之一圈

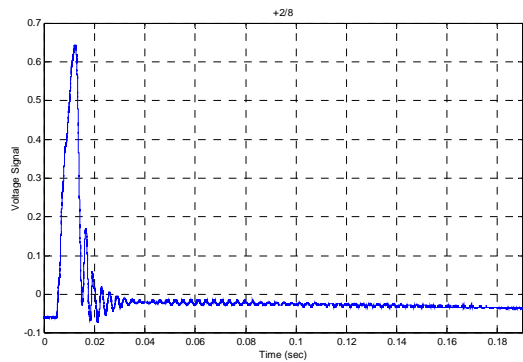


圖 2.16 增油八分之二圈

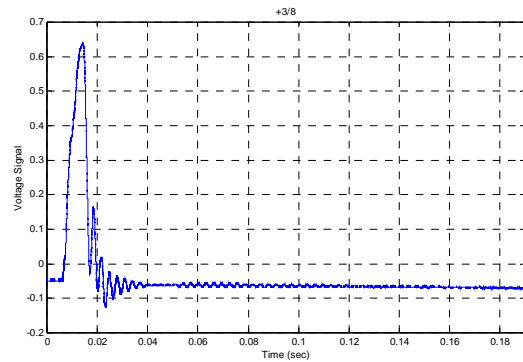


圖 2.17 增油八分之三圈

2.2.2 實驗結果：

下表為未調整與調整後之噴油壓力經運算所得之神經網路輸入值及各權重之收斂值。由圖表中，我們可發現，調整過後與未調整之值之差異，神經網路便以此來判別並學習，而將之分類。圖 2.18 到圖 2.23，表示輸出值 y 與各學習出來的參數值的收斂情形。

	未調整	減 $\frac{1}{8}$ 圈	減 $\frac{2}{8}$ 圈	減 $\frac{3}{8}$ 圈	減 $\frac{4}{8}$ 圈	減 $\frac{5}{8}$ 圈	減 $\frac{6}{8}$ 圈	減 $\frac{7}{8}$ 圈	減 $\frac{8}{8}$ 圈	增 $\frac{1}{8}$ 圈	增 $\frac{2}{8}$ 圈	增 $\frac{3}{8}$ 圈
U_1	0.0170	0.0162	0.0159	0.0139	0.0112	0.0105	0.0100	0.0008	0.0005	0.0175	0.0179	0.0183
U_2	0.7570	0.6830	0.6590	0.6640	0.6450	0.6350	0.6400	0.6400	0.6250	0.7170	0.7180	0.7180
U_3	0.0172	0.0263	0.0271	0.0242	0.0205	0.0226	0.0284	0.0284	0.0304	0.0189	0.0277	0.0277
α_1	0.1214	0.5694	0.5504	0.5519	0.5334	0.5270	0.5357	0.5357	0.5250	0.5906	0.5991	0.5991
α_2	0.1214	0.5694	0.5504	0.5519	0.5334	0.5270	0.5357	0.5357	0.5250	0.5906	0.5991	0.5991
α_3	0.1214	0.5694	0.5504	0.5519	0.5334	0.5270	0.5357	0.5357	0.5250	0.5906	0.5991	0.5991
x_1	0.3490	0.9933	0.9919	0.9920	0.9904	0.9898	0.9906	0.9906	0.9896	0.9946	0.9950	0.9950
x_2	0.3490	0.9933	0.9919	0.9920	0.9904	0.9898	0.9906	0.9906	0.9896	0.9946	0.9950	0.9950
x_3	0.3490	0.9933	0.9919	0.9920	0.9904	0.9898	0.9906	0.9906	0.9896	0.9946	0.9950	0.9950
\bar{x}	-1.7326e-004	1.4229	1.4209	1.4211	1.4188	1.4179	1.4191	1.4191	1.4176	1.4247	1.4254	1.4254
y	-5.1978e-004	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
$\bar{\omega}_1$	0.4775											
$\bar{\omega}_2$	0.4775											
$\bar{\omega}_3$	0.4775											
ω_{11}	0.5044											
ω_{12}	0.5044											
ω_{13}	0.5044											
ω_{21}	0.8022											
ω_{22}	0.8022											
ω_{23}	0.8022											
ω_{31}	0.5069											
ω_{32}	0.5069											
ω_{33}	0.5069											

表 2.1 調整與未調整時神經網路之各參數值

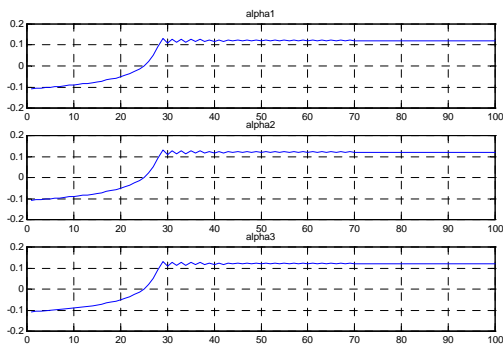


圖 2.18 未調整時的 $\alpha_1 \sim \alpha_3$ 的收斂情形

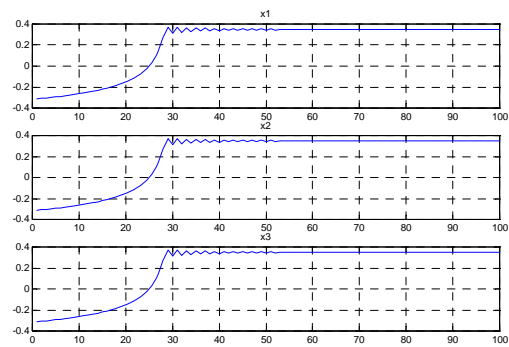


圖 2.19 未調整時的 $x_1 \sim x_3$ 的收斂情形

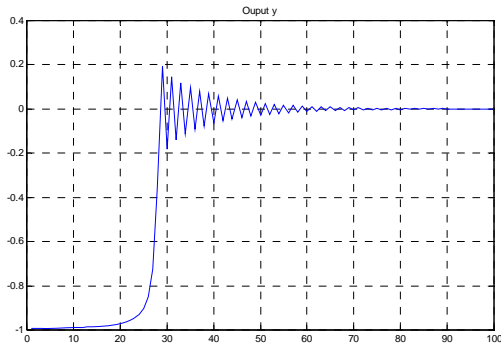


圖 2.20 未調整時輸出 y 的收斂情形

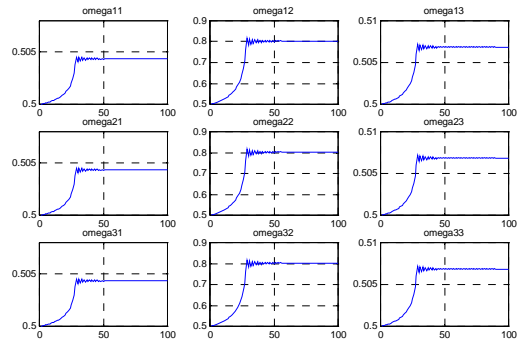


圖 2.21 未調整時 ω_{ij} 的收斂情形

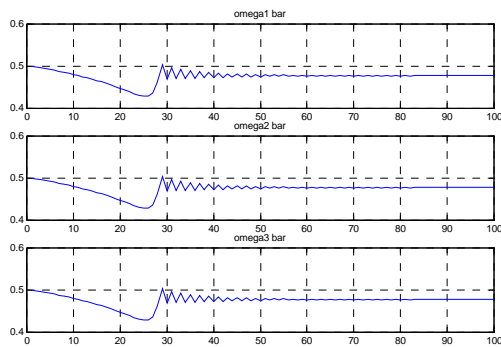


圖 2.22 未調整時 $\bar{\omega}_i$ 的收斂情形

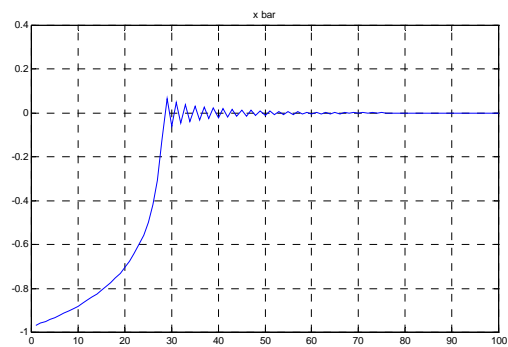


圖 2.23 未調整時 \bar{x} 的收斂情形

2.2.3 結果與討論

由以上的實驗結果可以發現，只要有經過調整的情況下，其輸出皆會為“1”，判別的效率很高。所以，這個方法可以用作判斷擅調的依據。

實驗中，發現不論是訊號擷取出來完整的數據，或是在這筆數據中挑選出一完整的波形做分析，數據並非是完全準確的，例如前一筆單一波形的資料與後一筆單一波形的資料選取的起始點並不一定相同，這樣會造成分析上多少造成一些誤差；為了克服這項不確定的因素，實驗過程中數據必須多取幾次；同時，在取一完整波形做分析的過程中，也要多做幾次來驗證運算結果是否都是相同，才可以做更加準確的判斷。

2.3 柴油車噴射系統故障情形與 NO_x 排放量的相關性研究。

使用中柴油車輛排放 NO_x 得形成機制是相當複雜的，依照歸類來說是屬於熱 NO_x (thermal NO_x)，產生的機制依照 Zel'dovich 的研究乃是因為引擎吸入的空氣中之氮氣處於柴油引擎燃燒室內高溫，富氧與長的高溫滯留時間。依照此機制可以推論出控制柴油 NO_x 排放量大小的參數有以下項目：引擎負荷、轉速、壓縮比、燃燒室之氣流運動狀態、過量空氣係數、柴油品質、噴油提前角、噴射泵之噴油量、噴油正時、以及噴油上升率。基本上，影響 NO_x 排放率的根本因素是火焰溫度、氧的濃度和火焰高溫的持續時間(形成 NO_x 的反應時間)。但是，這三個因素是通過柴油機的噴射系統參數、進氣系統參數、運轉參數、燃燒室結構參數以及其他參數等來影響著 NO_x 的排放率。依照熱 NO_x 的產生機制來推理，可以知道使用中車輛影響 NO_x 異常排放的可能原因有引擎本體與高壓噴射系統二類，而各有其可能影響的因素，如表 3.1 所列。

表 3.1. 影響使用中柴油車輛排放氮氧化合物之可能原因

機件磨耗或劣化問題	
引擎本體	(1) 引擎燃燒室積碳
噴射泵系統	(1) 正時器或調速器不良 (2) 全負荷定位螺絲任意變動 (3) 噴油正時不正確。 (4) 凸輪盤傳動接頭磨損 (5) 噴射泵凸輪盤磨損 (6) 噴射泵輸油閥磨損 (6) EDC 噴射泵控制系統故障
噴油嘴	(1) 噴油嘴閥針活門磨損 (2) 噴油嘴閥針活門積碳 (3) 噴油嘴阻塞 (4) 噴油嘴破裂 (5) 噴油開啟壓力不對 (6) 噴油霧化不良 (7) 噴油方向或角度不正確

依據以往學者使用電腦模擬方法預測柴油引擎內 NO_x 和黑煙排放量的研究結果指出：由於 NO_x 和黑煙排放的生成機制相當複雜，所以使用電腦模擬的方法來研究噴射系統故障情形對 NO_x 和黑煙排放量之關聯性是難度相當高的，而且準確度也不高。所以，可信度高且可行的研究方法是採用使用中車輛之實車測試方法。因此，本計畫擬租用 3.5 噸之使用中柴油車。使用此車輛來系統化研究：引擎或高壓柴油噴射系統故障劣化情形對於 NO_x 排放與黑煙排放的關聯性。測試的型態擬採用 CNS11645 全負載測試型態(與黑煙的測試型態相同)，在屏東科技大學車輛工程系的底盤動力計上量測 NO_x，黑煙，CO，CO₂，O₂ 與 HC 值等六個值，透過更換噴射系統中各種故障的零件來探討噴射系統故障時所引起的 NO_x 排放量與黑煙排放量之改變與關聯性，並且利用田口氏試驗

計劃法來求得各故障間的非線性交互作用。所採用的噴射系統之故障情形係參考去年度申請者執行永續會計計劃時，在民間噴射系統維修廠商處所取得的統計資料，以實際反映國內柴油車的使用現況。這些測試結果將用來仔細分析研究以下的課題

- (a)噴射系統的各種故障情形對 NO_x 排放的影響與關聯性
- (b)以實車實驗配合理論分析，研究柴油車擅調與氮氧化物關連性之分析，研究往後執行 NO_x 檢測時車主是否也能採用擅調的手法來規避受罰。並對環保署提出有效防制 NO_x 排放之建議。

2.3.1 結果與討論：

(1) 使用中車輛統計:

將計畫中所收集的 3.5 噸的貨車資料，經剔除可能擅調或不合理的資料後所統計的結果，可以得到圖 3.1~圖 3.3 之關係圖，圖 3.1 為馬力與 NO_x 排放量的關係圖，圖中表明了 NO_x 的量與馬力成正比關係，與使用實車實測時的趨勢相同。而無負載急加速所量測的煙度也與馬力成正比關係(圖 3.2)，這二種關係可能會使車主至排煙站受檢時，擅自調整噴油螺絲使得車輛馬力下降，而且煙度與 NO_x 量隨之下降，逃避受罰。圖 3.3 說明當車輛越老舊時，NO_x 只有些微上升的趨勢，但是上升的斜率小，這與一般車廠新車審驗送檢時所計算的 NO_x 排放係數接近一的趨勢相仿。也就是說，使用中的車輛若保養正常時，NO_x 的排放量並不會增加很多。

(2) 噴射系統故障與 NO_x、黑煙排放的關聯性:

為了了解，各零件故障時，對 NO_x 排放量之影響，計劃中擬以田口氏計劃法來從事試驗的安排。表 3.2 為 L₈(2⁷) 直交表的表格，其中各參數為 A 參數: 凸輪盤磨損，B 參數: 噴油嘴開啟壓力，C 參數: 輸油閥磨損，D 參數: 噴油正時，E 參數: 全負荷定位螺絲任意變動(擅調)，F 參數: 空氣濾清器流阻，G 參數: 引擎轉速。各參數所使用的零件係委託民間噴射系統維修廠商處加工或搜購市場上車子維修所更換下來的零件，所更換的零件如圖 3.4(a)~(e)所示。各種故障與黑煙、NO_x 排放的關聯性如表 3.3~表 3-4 所示，以下分別探討各種故障對黑煙、NO_x 排放的效應(表 3.5):

- 甲、凸輪盤磨損: VE 噴射泵最容易磨損的零件當屬凸輪盤，凸輪盤磨損後會造成正時，噴油均勻度與噴油量的變異，而凸輪盤之傳動接頭若磨損後會造成回油量少，供油量增加的情形，因此整個效應會造成 NO_x、黑煙排放的增加。
- 乙、噴油嘴壓力減少: 當噴油嘴開啟壓力較小時，噴油率的最大值較小，噴油持續時間也較長，噴油起始時間則提前噴油。這樣的結果可以說明

噴油嘴開啟壓力較小時，後段噴油量的增加會造成黑煙排放的增加趨勢，而提前噴油也會造成 NO_x 排放的增加。

丙、輸油閥磨損: 輸油閥會造成黑煙量增加與 NO_x 量減少的效應，但是，輸油閥本身並不容易磨損。

丁、噴油正時: 若柴油車正時調校不良，若延後正時，會造成 NO_x 減少、黑煙排放增加的效應，正時提前則會使 NO_x 變大、黑煙排放變小的影響。

戊、全負荷定位螺絲任意變動(擅調): 若任意調整全負荷螺絲，將會造成 NO_x、黑煙排放的增加或減少。一般來說，若增加油量時，柴油車馬力會增加，NO_x、黑煙排放的濃度會增加，反之若調整螺絲使油量減少則效應相反。

己、空氣濾清器阻塞: 空氣濾清器若阻塞時，會造成空燃比減少的趨勢，所以 NO_x、黑煙的排放量都會增加。

整個來說，3.5 噸柴油車由於使用 VE 噴射泵，所以凸輪盤容易故障造成 NO_x 與黑煙的排放量增加。田口氏方法也預測這個因素是較重要的影響因子。依照市場上的統計如果使用到非法柴油，很容易造成此凸輪的異常磨損，即使是正常使用在 10 萬公里時也會有磨損，造成約 10% 供油的增加，這樣容易使 NO_x 與黑煙量的增加。另一方面，引擎汽缸的磨損會造成汽缸壓力的減少，減低 NO_x 的排放，所以劣化後的引擎並不會大量的增加 NO_x 排放，這也可以從上節使用中車輛的統計圖(圖 3.3)中看出。

(3) 擅調手法研究:

是否有擅調方式可以用來規避 NO_x 的定檢，也是計畫的重點之一，透過各種情況下 NO_x 與黑煙的關聯性，可以找出車主未來可能的擅調方式。以車主來說，整車最容易變動的就是全負荷螺絲與噴油正時。圖 3.5 表示 NO_x、黑煙與調整全負荷螺絲的關係圖，圖中說明當噴油泵調整量越大時(即柴油引擎供油行程越小)，黑煙與氮氧化物會越小。以氮氧化物來說，這是因為汽缸內溫度隨著噴油量減少而變小，伴隨著高溫持續的時間縮短，所以氮氧化合物的排放減少了許多。圖 3.6 表示 NO_x、黑煙與噴油正時的關係，圖中說明當噴油正時延後時，後段的噴油量增加且汽缸內的溫度較低，所以 NO_x 濃度下降但是黑煙量增加。由以上的趨勢可以理解，車主可能會以調整全負荷螺絲或延後噴油正時來規避 NO_x 檢查，而調整全負荷螺絲除了會使 NO_x 濃度下降外也會使黑煙量下降，對車主來說是最佳的

擅調方式，而對環保署施政績效來說，是最大的傷害，因此計劃中另一的主題，即是對擅調提出診斷技術的研究。

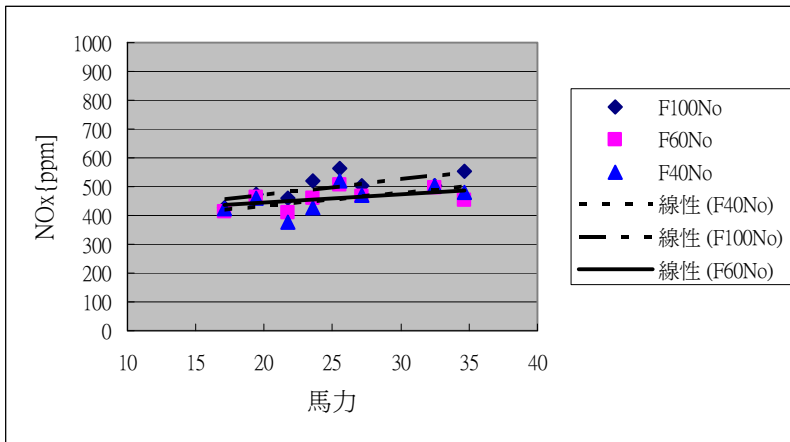


圖 3.1 使用中車輛馬力與 NOx 排放量的關係圖

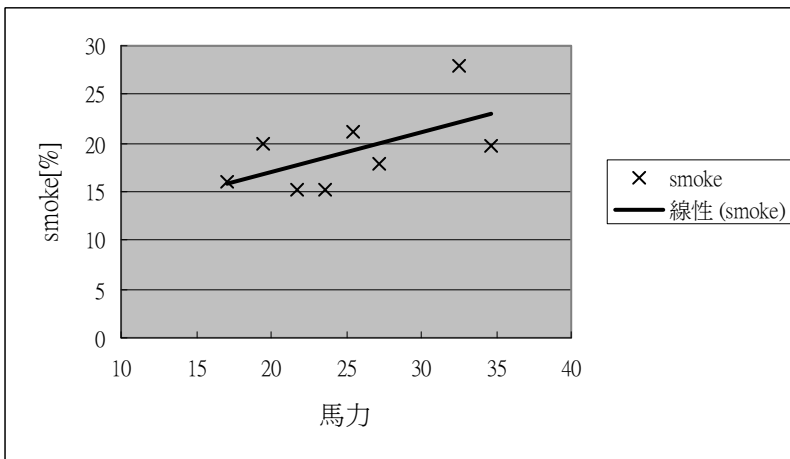


圖 3.2 使用中車輛馬力與 CNS11644 所測煙度的關係圖

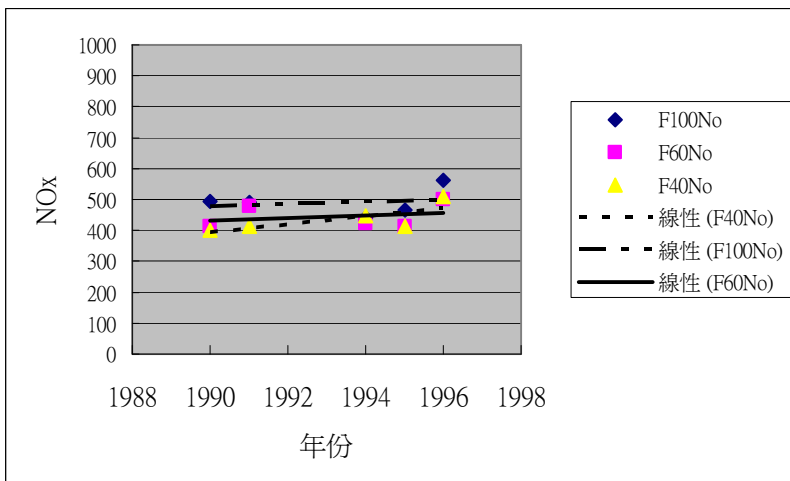


圖 3.3 使用中車輛年份與 NOx 排放量的關係圖



圖 3.4(a) 劣化磨損的凸輪盤之傳動接頭



圖 3.4(b) 凸輪盤與供油 PUMP 軸的組合圖



圖 3.4(c) 磨損的輸油閥(在伸縮處會有磨耗)

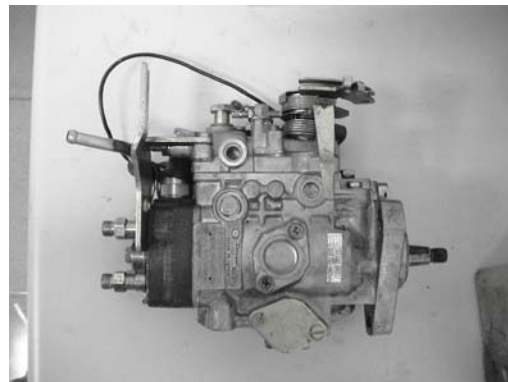


圖 3.4(d) 噴射泵



圖 3.4(e) 噴射泵與引擎的組合圖

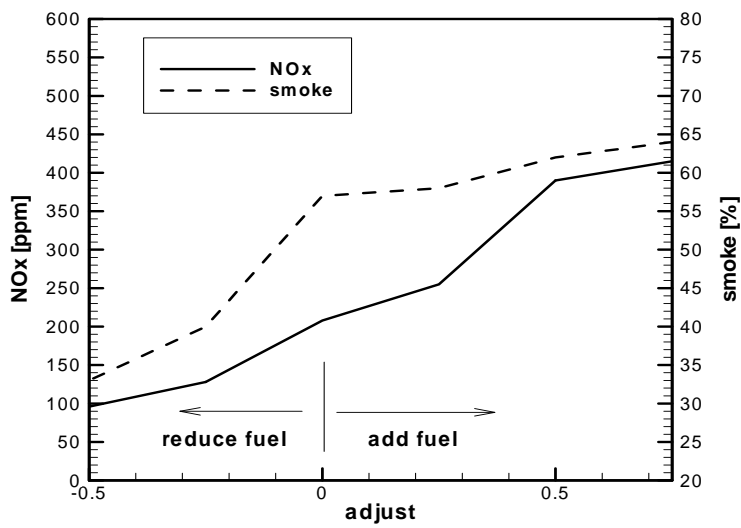


圖 3.5 全負荷螺絲調整圈數與 NOx, 黑煙之排放關係圖

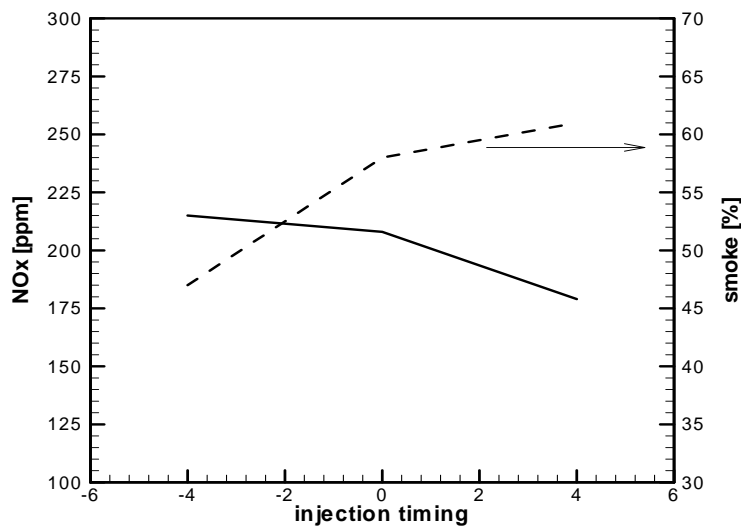


圖 3.6 噴油正時角度與 NOx, 黑煙之排放關係圖(正值表示正時延後)

表 3.2 $L_8(2^7)$ 直交表

試驗	A 參數	B 參數	C 參數	D 參數	E 參數	F 參數	G 參數
試驗 1	1	1	1	1	1	1	1
試驗 2	1	1	1	2	2	2	2
試驗 3	1	2	2	1	1	2	2
試驗 4	1	2	2	2	2	1	1
試驗 5	2	1	2	1	2	1	2
試驗 6	2	1	2	2	1	2	1
試驗 7	2	2	1	1	2	2	1

試驗 8	2	2	1	2	1	1	2
------	---	---	---	---	---	---	---

表 3.3 NO_x 受每一個條件的影響表(單位：PPM)：

	A (凸輪盤 磨損)	B (噴油嘴 壓力)	C (輸油閥 磨損)	D (噴油正 時)	E (擅調)	F (空氣流 阻)	G (引擎轉 速)
Level 1	199.6	228.0	284.5	200.6	307.7	240.9	271.8
Level 2	319.8	291.4	234.9	318.8	211.7	278.5	278.5
Effect	120.2	63.4	-49.6	118.2	-96	37.6	6.7

表 3.4 黑煙受每一個條件的影響表(單位：%)：

	A (凸輪盤 磨損)	B (噴油嘴 壓力)	C (輸油閥 磨損)	D (噴油正 時)	E (擅調)	F (空氣流 阻)	G (引擎轉 速)
Level 1	40.9	37.5	43	49.7	48	43.4	53.1
Level 2	48.5	51.9	46.4	39.7	41.3	46	36.3
Effect	7.6	14.4	3.4	-10	-6.7	2.6	-16.8

表 3.5 噴射系統故障情形與黑煙和 NO_x 的排放關聯性

零件故障	凸輪盤 劣化	噴油壓 力下降	輸油閥 劣化	噴油正 時提前	全負荷螺 絲調整(減 油)	空氣濾 清器阻 塞	引擎 轉速 大
黑煙量	變大	變大	變大	變小	變小	變大	變小
NO _x 量	變大	變大	變小	變大	變小	變大	變大

2.4、使用中柴油引擎噴油控制系統元件診斷系統之開發

本項工作之目標為針對使用中柴油引擎燃料噴射泵之電子控制系統，發展線上診斷技術，以提供修護業者在不分解噴射泵的情況下，診對噴射泵之控制系統元件是否故障，以便車輛於保養階段即能偵測出元件之故障，預防該車輛繼續行駛而污染環境。本計畫之主要構想為，利用前饋控制器與回饋控制器，使燃料噴射泵之齒桿之反應能追隨所設計的參考訊號，再藉由量測回饋控制器之輸出訊號，估計系統之參數，然後將這些參數估計值，輸入一個故障分類類神經網路中，以診斷噴射泵內部之重要元件是否故障。

EDC 噴射泵油量控制系統之主要零件包括油門齒桿，線性電磁閥，與齒桿位置感測器。根據上一年度計畫中對業者之訪談結果，各元件之故障情形如下：

- 油門齒桿：變形彎曲或斷裂
- 齒桿位置感測器：裝置於齒桿連動機構上之感測元件斷裂，導致控制器無法感測齒桿之移動訊號
- 線性電磁閥：磨損

以上三者之中，以線性電磁閥之故障率最高，售價約三萬元。因為這些主要元件裝置於噴射泵內部，拆卸困難，裝回時必須校正，因此更換零件以及調校所需之費用約需七萬元。由於經常處於高速往復運動模式，線性電磁閥靠一油孔補充引擎機油潤滑，若機油之品質不當，或行駛里程過多，線性電磁閥非常容易磨損而增加摩擦力，此時齒桿控制系統將因此一非線性項存在使得齒感位置控制不當因而油量控制失效，造成引擎轉速振盪且冒黑煙。因此原廠規範，當電磁閥柱塞偏搖度超過 0.12mm 時就必須更換。然而，根據業者反映，經常於發生引擎怠速冒黑煙時，分解噴射泵檢查後，無其他零件故障，且電磁閥之磨損程度未超過廠商規範值，有時更換此一電磁閥後問題就不再發生，也有原來沒有上述故障產生，但經過清洗電磁閥後卻發生了故障。因此業者對該電磁閥之故障診斷法束手無策，只能以將所有零件逐一更換的試誤法解決之，然而此一方式常讓車主花了大把的冤枉錢而未必能解決問題，因此判別該電磁閥之故障技術為本計畫之重點。本項工作為上年度計畫工作之延伸，主要解決下列所述有關上年度成果於實際應用上之缺點：

- (1) 現場技師必須藉由觀測波形而判斷系統參數，現場技師難以應用。
- (2) 控制器參數必須以試誤法調整，現場技師難以完成。
- (3) 未具備完整之使用者介面

為了本計畫成果能為產業界所應用，本計畫希望發展完整之診斷設備，目標為易於為現場所使用，且能直接估計系統之參數而進行故障診斷。

1. 研究方法

(1) 系統參數估測演算法

本計畫參數估測之主要構想為，首先推導出系統之動態方程式，然後利用一組並聯的前饋控制器與回饋控制器，使燃料噴射泵之齒桿之反應能追隨所設計的參考訊號，再藉由量測回饋控制器之輸出訊號，估計系統之參數。噴射泵之齒桿控制系統為一種伺服機械控制系統，電磁閥柱塞與齒桿可視為剛性連結，其動態方程式可表示為

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx + F_f(\dot{x}, F_m) = F_m \quad (4.1)$$

$$L \frac{di}{dt} + iR_c = k_A u(t) \quad (4.2)$$

其中 x 為齒桿之移動位移， $F_f(\dot{x}, F_m)$ 為摩擦力， k 為齒桿彈簧之彈性係數， c 為系統之黏性摩擦(viscous friction)係數， m 為齒桿機構加上電磁閥柱塞之質量， i 為電磁閥線圈電流， u 為電磁閥之控制電壓， R_c 為電磁閥線圈電阻， L 電磁閥線圈電感， k_A 為功率放大器之增益。 F_m 為電磁閥加諸齒桿之電磁控制力，為電磁閥線圈電流與電磁閥柱塞位移量之非線性函數，將 F_m 對操作點線性化可得

$$F_m = -k_x x + k_i i \quad (4.3)$$

機械系統中最重要之摩擦力為靜摩擦(static friction)、庫倫摩擦(Coulomb friction)、與黏性摩擦(viscous friction)。其中黏性摩擦已經考慮於系統中。靜摩擦 F_0 之數學模式為

$$F_0(\dot{x}, F_m) = \begin{cases} 0, & \text{if } \dot{x} \neq 0 \\ \lambda(F_m), & \text{if } \dot{x} = 0 \end{cases}$$

$$\lambda(F_m) = \begin{cases} F_s(0+), & \text{if } F_m \geq F_s(0+) > 0 \\ F_m, & \text{if } F_s(0-) < F_m < F_s(0+) \\ F_s(0-), & \text{if } F_m \leq F_s(0-) < 0 \end{cases} \quad (4.4)$$

其中為 F_s 靜摩擦係數，庫倫摩擦之數學模式為

$$F_f(\dot{x}) = F_c \cdot \text{sgn}(\dot{x}) \quad (4.5)$$

其中 F_c 為庫倫摩擦力。因此(4.1)式之摩擦力 F_f 可表示為

$$F_f(\dot{x}, F_m) = F_0(\dot{x}, F_m) + F_c \cdot \text{sgn}(\dot{x}) \quad (4.6)$$

為了檢測該系統之故障情形，本研究提出如圖 4.1 所示之檢測系統。圖 4.1a 中回饋控制器 G_2 主要用使齒桿之位移反應 x 能追隨參考訊號 r ，前饋控制器 G_1 主要用於摩擦力鑑別，同時具備抵消閉迴路系統不想要的零點之功能。該系統之反應可表示為

$$x = \frac{G_3 G_4 (G_1 + G_2)}{1 + k_0 G_2 G_3 G_4} r + \frac{G_4}{1 + k_0 G_2 G_3 G_4} F_f \quad (1.7)$$

此時系統之追隨誤差為

$$e = \frac{1 - k_0 G_1 G_3 G_4}{1 + k_0 G_2 G_3 G_4} r - \frac{k_0 G_4}{1 + k_0 G_2 G_3 G_4} F_f \quad (4.8)$$

因為回饋控制器 G_2 之輸出為 $u_2 = eG_2$ ， u_2 與摩擦力之關係為

$$u_2 = \frac{G_2 - k_0 G_1 G_2 G_3 G_4}{1 + k_0 G_2 G_3 G_4} r + \frac{k_0 G_2 G_4}{1 + k_0 G_2 G_3 G_4} F_f \quad (4.9)$$

由(4.9)式，若於前饋控制量 u_1 加入摩擦力補償項

$$u_f = \frac{1}{G_3} F_f \approx \frac{R_c}{k_A k_i} F_c \operatorname{sgn}(\cdot) = a_f \operatorname{sgn}(\cdot) \quad (4.10)$$

且前饋控制器中， G_1 之參數等於系統之參數值，亦即

$$u_1 = G_1 r + u_f, \quad G_1 = (k_0 G_3 G_4)^{-1} \quad (4.11)$$

時，則回饋控制器之輸出將為 $u_2 = 0$ 亦即 $u = u_1$ 。因此只要回饋控制器設計得當能使系統穩定，則系統之摩擦力可以藉由量測回饋控制量而估計之。於應用時，回饋控制器 G_2 可以使用各種不同類型之控制器，本研究採用 PID 控制器，各參數則利用 Gradient Method 線上鑑別。由圖 4.1a，因為 \hat{G}_1 可表示為

$$\hat{G}_1 = \hat{a}_3 s^3 + \hat{a}_2 s^2 + \hat{a}_1 s + \hat{a}_0 \quad (4.12)$$

前饋控制量之估計值為

$$\hat{u}_1 = \hat{a}_3 r + \hat{a}_2 r + \hat{a}_1 r + \hat{a}_0 r + \hat{a}_f \operatorname{sgn}(r) \quad (4.13)$$

若各參數之估計值接近真實值，亦即

$$\begin{aligned} \hat{a}_3 = a_3 &= \frac{Lm}{k_A k_i k_o}, \quad \hat{a}_2 = a_2 = \frac{mR_s + Lc}{k_A k_i k_o}, \quad \hat{a}_1 = a_1 = \frac{L(k - k_x) + R_s c}{k_A k_i k_o}, \\ \hat{a}_0 = a_0 &= \frac{R_s(k - k_x)}{k_A k_i k_o}, \quad \hat{a}_f = a_f = \frac{R_c}{k_A k_i} F_f \end{aligned} \quad (4.14)$$

則 $u_1 = u$ 。定義參數估計之誤差為

$$e_2 = u - u_1 = W\hat{a} - Wa = W\tilde{a} \quad (4.15)$$

其中 $W = [\hat{a}_3 \ \hat{a}_2 \ \hat{a}_1 \ \hat{a}_0 \ \hat{a}_f]^T$ ， $\hat{a} = [\hat{a}_3 \ \hat{a}_2 \ \hat{a}_1 \ \hat{a}_0 \ \hat{a}_f]^T$ 。由 Gradient Method，參數估

計值之調整律可為

$$\dot{\hat{a}}(t) = -PW(t)e_2(t) \quad (4.16)$$

其中矩陣 P 為參數調整率之增益，必須由使用者自行調整。系統於控制過程中，應用式 (1.16)，並給定矩陣 P 以後，參數矩陣 \hat{a} 內之各參數將隨著誤差值 e_2 之大小，線上自動調整其值，直到 $e_2 = 0$ 為止，此時 \hat{a} 內之各參數即為系統之參數值。

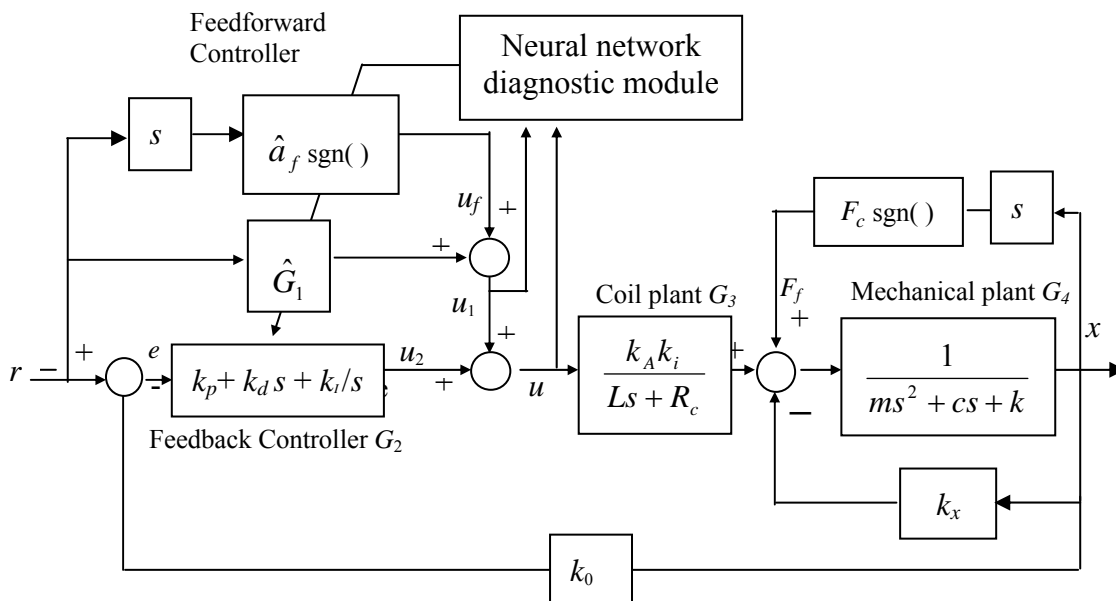


圖 4.1a 診斷系統方塊圖

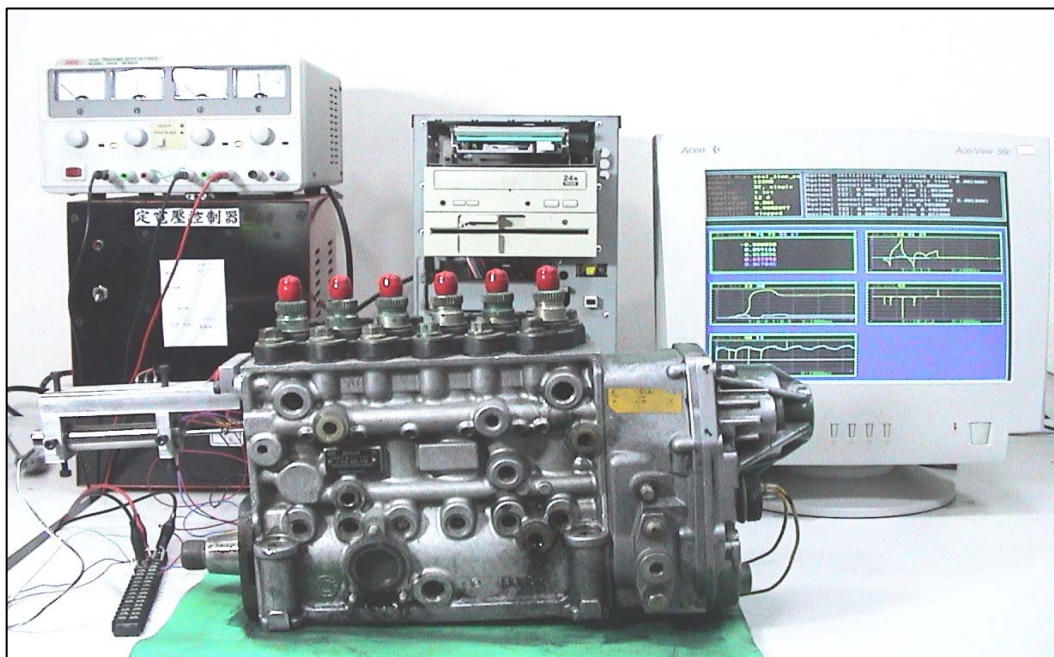


圖 4.1b 診斷系統實驗設備



圖 4.1c 診斷系統首頁

(2) 參數估測實驗結果

本研究共收集了 EDC 柴油引擎之噴射泵、控制系統電磁閥(新品 4 個, 舊品 13 個)、感測器、及齒桿之故障與正常零件數個, 實驗設備包括功率放大器, PC(控制器), LVDT 位置感測器, 以及一個堪用之 EDC 噴射泵, 其中 LVDT 位置感測器用以取代噴射泵內原裝之位置感測器, 因為若使用原裝的位置感測器必須購置與其搭配的放大器, 而該配備造價昂貴本研究目前難以負荷。然而本研究所使用之感測器之功能完全相同, 並不影響實驗之進行。

我們以同一個噴射泵, 同樣的控制器參數, 分別裝用不同磨損程度之線性電磁閥, 以比較這些電磁閥之摩擦特性。進行實驗前, 每一個電磁閥均按照原廠規範, 分別量測電磁閥線圈之電阻值, 以及柱塞軸之偏搖度以便了解柱塞軸與軸襯套間之磨損程度。依原廠規範, 偏搖度不得超過 0.12mm; 電阻值之範圍為 0.6-0.9Ω。本實驗所有的電磁閥電阻值均未超過標準, 偏搖度則有較大的變化。以下分別敘述分別裝用不同磨損程度之線性電磁閥時之實驗結果。

圖 4.2 為電磁閥為新品時之實驗結果, 參數之估計值為 $\hat{a} = [0.0001, 0.0630, 0.0118, 0.6819, 0.0469]^T$ 。該電磁閥之閥體與柱塞間的偏搖度為 0.09mm, 線圈電阻值為 0.7Ω, 雖然此一電磁閥為新品, 因為此系統之運動件除了電磁閥之柱塞軸外, 還包括齒桿與受齒桿驅動之噴射泵柱塞筒, 系統中仍然存在小的摩擦力($\hat{a}_f = 0.0469$)。必須注意的是, 摩擦力估計值並非等於系統摩擦力值, 因為控制量乃是經電壓放大器與電磁閥之增益放大

而作用於系統，因此系統摩擦力值 F_f 與估計值 \hat{a}_f 之關係為

$$F_f = \frac{k_A k_i}{R_c} \hat{a}_f \quad (4.17)$$

圖 4.3 為裝用一個有冒黑煙之現象而更換之電磁閥的實驗結果，系統參數之估計值為 $\hat{a} = [0.0001, 0.0583, 0.0239, 0.6649, 0.0715]^T$ 。該電磁閥柱塞與閥體間已經磨損使得間隙變大，偏搖度也變大(偏搖度 0.25 mm，電阻值為 0.7Ω)。因此摩擦力估計值顯示其摩擦力較前者大了許多，接近前者之二倍。於齒桿之控制過程中可以發現，齒桿速度轉換之暫態過程，齒桿之移動落後於參考訊號之情形更為嚴重，同時，於柱塞移動的過程中，由於滑動件接面間之靜摩擦區與動摩擦區的比例不斷變化，齒桿行進過程發生抖顫現象(Chattering)，導致齒桿之位移過程呈現階梯狀。

圖 4.4 為噴射泵裝用一個從行駛約 97 萬公里的引擎所更換之電磁閥的實驗結果，系統參數之估計值為 $\hat{a} = [0.0001, 0.0546, 0.0471, 0.7321, 0.1284]^T$ 。該引擎已經發生怠速忽高忽低(hunting)且嚴重冒黑煙之現象。由於嚴重磨損(電磁閥柱塞偏搖度 0.20 mm，電阻值 0.7Ω)，齒桿位置無法控制，導致噴油量時而過多時而過低，引擎因而發生 hunting 之現象且排出大量污染物，實測最大黑煙濃度達 90%。當此一電磁閥於本研究之實驗系統時，齒桿追隨參考訊號訊號數個循環之後，系統即失去穩定性，齒桿來回撞擊行程限制螺絲。參數之估計結果顯示參數之估計結果顯示其摩擦力較前二者大了許多，接近第一個電磁閥之三倍。由以上之實驗結果顯示，本計畫所提之方法確實可以線上估計系統之參數。

(3)利用神經網路故障判斷

由以上之參數估測結果，系統共有五個參數，現場使用者仍然難以利用這些參數判斷系統是否故障，因此診斷系統必須有能力根據此五個參數自動判斷元件是否故障。我們經由對分別換裝 17 個不同的電磁閥時之系統，進行參數鑑別結果顯示，裝用不同磨損程度之電磁閥時，式(4.13) 的五個參數中，只有 \hat{a}_f 與 \hat{a}_1 有明顯差異，換言之，系統參數鑑別結果萃取了足以判斷電磁閥是否磨損之關鍵性故障特徵。亦即，只要根據 \hat{a}_f 與 \hat{a}_1 即可用來判斷電磁閥是否故障，然而其如何建立故障判斷之標準，為一重要關鍵，因此本計畫採用二個輸入神經元，一個輸出神經元之感知機(Perceptron)類神經網路，處理此一故障分類問題，我們以 \hat{a}_f 與 \hat{a}_1 為輸入變數，以系統是否故障為輸出變數，神經元之轉移函數採用步階(step function)函數(圖 4.5)。

我們首先以 6 個電磁閥之(\hat{a}_1, \hat{a}_f)資料作為訓練資料，其中 2 個為導致引擎排放黑煙之嚴重故障品，4 個為未曾使用過之新品，每一個電磁閥分別進行 3 次參數估測，因此共有 18 筆訓練資料，對神經網路進行訓練，以取得故障分類標準線，如圖 4.6 所示，我們在得到一條故障分類標準線，將(\hat{a}_1, \hat{a}_f)空間區分為故障區與正常區。當網路訓練完成之後，接著以 11 個電磁閥舊品之(\hat{a}_1, \hat{a}_f)資料作為測試範例，其中 6 個為故障品其故障之嚴重情況均不相同，5 個為尚可使用之堪用品，每一個電磁閥分別進行 3 次參

數估測，因此共有 33 筆資料。將此 33 筆之 (\hat{a}_1, \hat{a}_f) 資料輸入已訓練完成之神經網路，計算其輸出，若某一個電磁閥之 (\hat{a}_1, \hat{a}_f) 輸入網路時，所對應之輸出為 1 則判定該電磁閥為正常品，於圖 4.6 中標示為”+”，反之，若某一個電磁閥之 (\hat{a}_1, \hat{a}_f) 輸入網路之輸出為 0 時，則判定該電磁閥為故障品，於圖 4.6 中標示為”O”。由圖 4.6 可以明顯看出，神經網路對此 11 個電磁閥舊品之故障分類非常正確，除了有一個電磁閥之磨損程度非常輕微，其 (\hat{a}_1, \hat{a}_f) 值非常接近分類線，於三次實驗中，有兩次被分類為為故障，一次被分類為正常，嚴格來說，應屬於故障品。再者，圖中顯示，同一個電磁閥之三次參數估測值均非常接近(以虛線包覆的三個點)，顯示本計畫之參數估測之重現性頗佳。

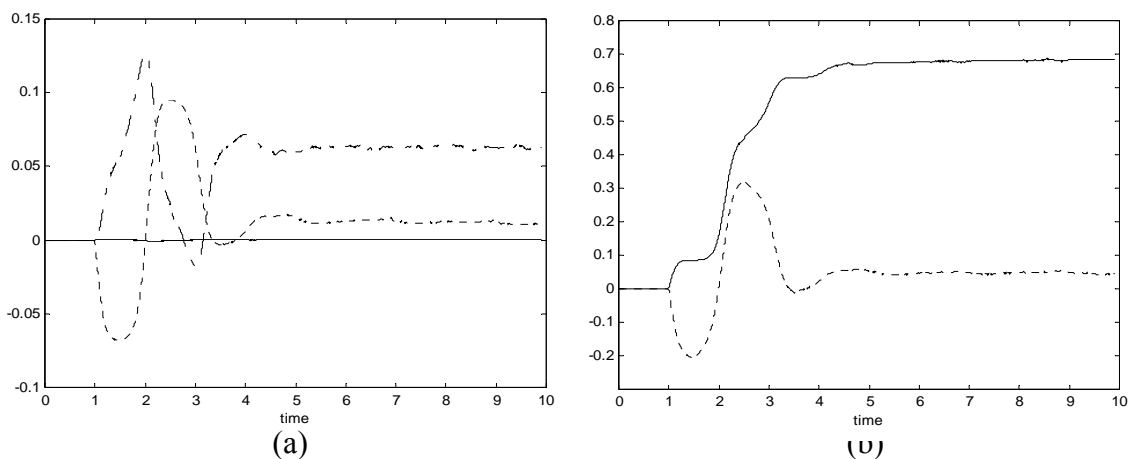


圖 4.2 裝用新品電磁閥(電磁閥柱塞之偏搖度為 0.09 mm；電阻值為 0.7Ω)之系統參數估計。(a) \hat{a}_3 :實線, \hat{a}_2 :點實線, \hat{a}_1 :虛線；(b) \hat{a}_0 :實線, \hat{a}_{f1} :虛線

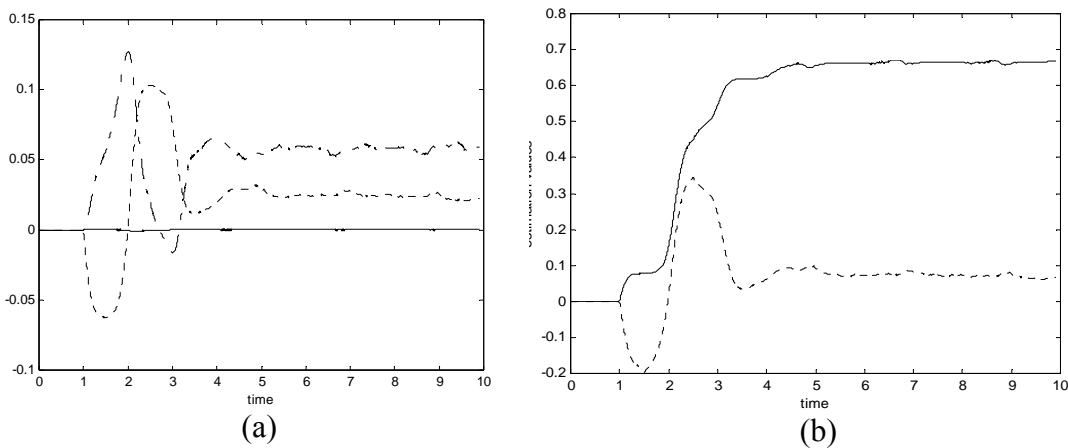


圖 4.3 系統裝用磨損之電磁閥(柱塞之偏搖度為 0.25 mm；電阻值為 0.7Ω)之參數估計。(a) \hat{a}_3 :實線, \hat{a}_2 :點實線, \hat{a}_1 :虛線；(b) \hat{a}_0 :實線, \hat{a}_{f1} :虛線

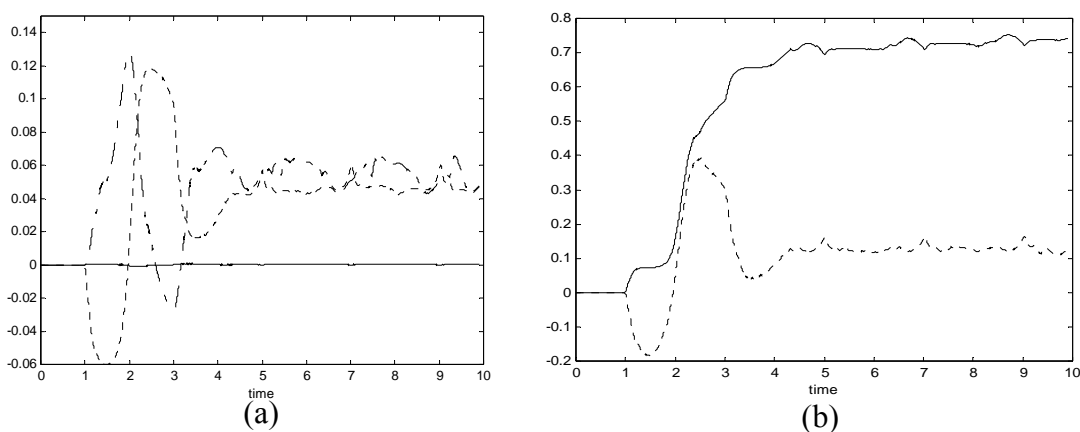


圖 4.4 系統裝用故障之電磁閥(柱塞之偏搖度為 0.2 mm；電阻值為 0.7Ω)之參數估計。(a) \hat{a}_3 :實線, \hat{a}_2 :點實線, \hat{a}_1 :虛線；(b) \hat{a}_0 :實線, \hat{a}_{f1} :虛線

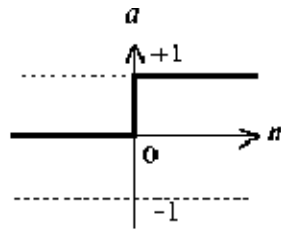


圖 4.5 神經元之轉移函數

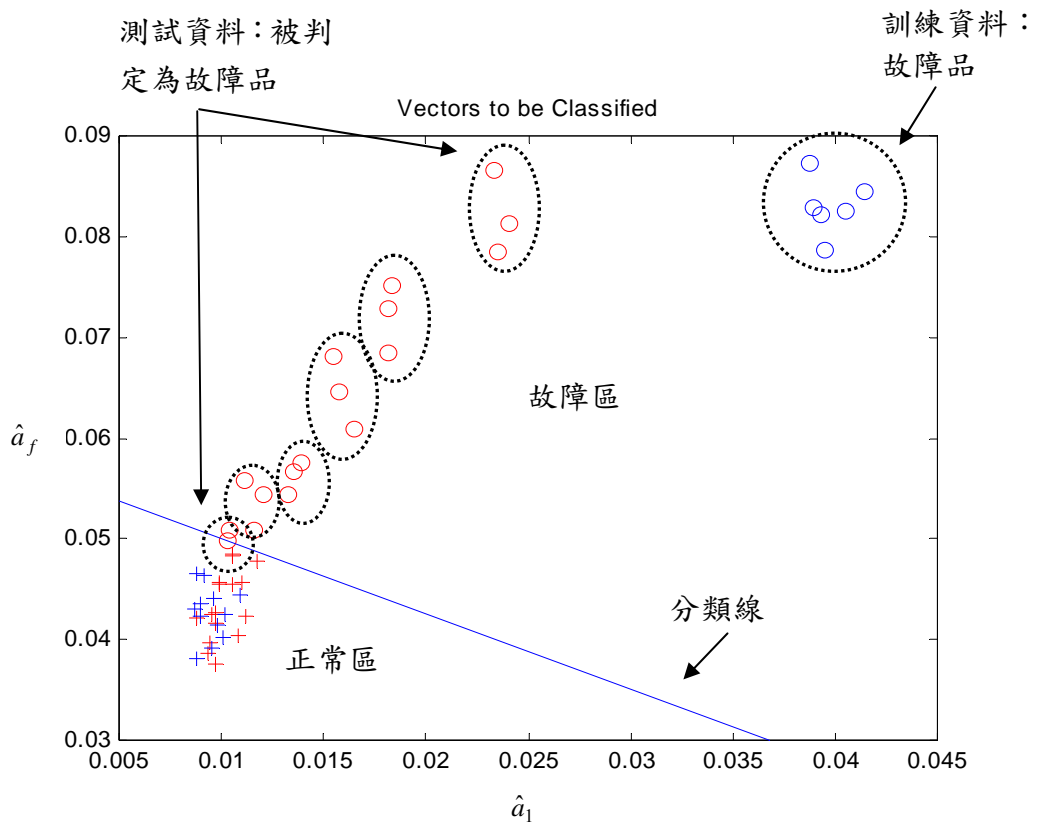


圖 4.6 利用類神經網路進行正常品與故障品之判斷結果，圖中，以虛線包覆的三個點為同一個電磁閥估測三次之參數。”O”表示電磁閥被判定為故障品，”+”表示電磁閥被判定為正常品。

三、結論

本計畫分為四項工作同時進行，各項工作之具體結論如下：

(1) 使用中柴油車 NO_x 排放水準與管制策略之研究

- 本計畫與各縣市動力站合作，已經取得 835 台以上柴油車輛之扭力、馬力、O₂、NO_x、CO、HC、CO₂ 與黑煙之實測值。經過資料之統計分析結果顯示，擅調的確會影響 NO_x 的量測值。
- 資料統計分析結果顯示 3000c.c 以下輕型柴油車其 NO_x 的排放濃度受擅調的影響較小，且 NO_x 的排放量也較大型車為低。
- 3000c.c 以上的中、重型柴油車其 NO_x 的排放濃度分佈，除了在怠速檢測時較不受擅調影響外，其餘受擅調的影響則較大，且 NO_x 的排放濃度也較高。無論中、大型車或小型車，無論是否有經擅調，怠速時之 NO_x 的排放量都很低，因此無須進行怠速 NO_x 的排放檢測。在現行的柴油車檢測方法中，全負載 40% 定轉速 NO_x 的排放量比怠速、全負載 60% 定轉速和全負載 100% 定轉速的排放量為高。因此，以全負載 40% 定轉速的 NO_x 測試值，來擬定 NO_x 的排放標準最為適當。
- 全負載 40% 定轉速下 NO_x 的排放情形來看，可發現 3000c.c 以下的柴油車與 3000c.c 以上的柴油車，其 NO_x 排放的分佈有很大的差異。建議必須分別擬定 3000c.c 以下與 3000c.c 以上兩種不同的 NO_x 排放標準，以符合最佳的管制效果。

(2) 柴油車擅調診斷方法之研究

- 本計畫測量柴油車噴油系統之高壓油管動態壓力變化訊號，並利用倒傳遞神經網路學習架構來判斷噴油系統是否經過擅調。由量測資料顯示，噴油量、油閥開啟時間、及噴油壓力瞬間之最大值均能顯現出有無擅調之差異性。所以利用此差異性輸入至學習式神經網路，並利用監督式學習法則將差異性分類，已藉此判斷是否有無擅調情形發生。
- 本計畫之結果可應用於擅調之檢驗，先將每一款式車種之柴油引擎噴射幫浦於出廠時量得正常之噴射壓力，利用本計畫所提之神經網路架構進行學習，並紀錄收斂之權重值。當進行測試時，即以測試所得之噴油壓力值進行前述之神經網路輸入值 $U_i, i=1,2,3$ 運算，再將此運算值輸入至原先以收斂之神經網路運算。若輸出不為零而為接近 1 之值，則表示可能經過擅調。

(3) 柴油車噴射系統故障情形與 NO_x 排放量的相關性研究

- 柴油車若無故障並進行正常保養，NO_x 之劣化不嚴重
- 只有車輛有元件故障時，才會排出大量 NO_x
- No_x 之管制目的為督促車主正常保養本項工作以田口氏計劃試驗法來釐清噴射系統故障情形與 NO_x、黑煙排放的相關性研究，整個來說，3.5 噸柴油

車由於使用 VE 噴射泵，所以凸輪盤容易故障造成 NOx 與黑煙的排放量增加。田口氏方法也預測這個因素是較重要的影響因子。另外，噴油嘴的開啟壓力下降也會引起黑煙與 NOx 的增加，但是效果不如凸輪盤的影響那樣大，輸油閥磨損也是造成黑煙與 NOx 增加的原因但效果不大，且噴射系統的輸油閥不容易劣化磨損。噴油正時是另一個影響 NOx 排放的主要原因，但是此參數屬於噴射系統的調整問題，而非噴射系統的故障。除了噴射系統故障外，老舊車輛尚須考慮引擎汽缸的磨損會造成汽缸壓力的減少，而減低 NOx 的排放，所以劣化後的引擎並不會大量的增加 NOx 排放。計劃中，也研究未來車主規避 NOx 檢測的擅調手法，結果顯示：車主可能會以調整全負荷螺絲或延後噴油正時來規避 NOx 檢查，而調整全負荷螺絲除了會使 NOx 濃度下降外也會使黑煙量下降，對車主來說是最佳的擅調方式。

(4)使用中柴油引擎噴油控制系統元件診斷系統之開發

- 本年度希望發展完整之 EDC 柴油引擎噴射油控制系統電磁閥診斷設備，目標為易於為現場所使用，且能直接診斷元件是否故障。計畫主要構想為，利用前饋控制器與回饋控制器，使燃料噴射泵之齒桿之反應能追隨所設計的參考訊號，再藉由量測回饋控制器之輸出訊號，估計系統之參數，然後將這些參數估計值，輸入一個故障分類類神經網路中，以診斷噴射泵內部之重要元件是否故障。本研究共收集了 EDC 柴油引擎之噴射泵、控制系統電磁閥(新品 4 個，舊品 13 個)、感測器、及齒桿之故障與正常零件數個進行實驗，由各項實驗結果顯示，本計畫所提之技術確實可以正確地診斷 EDC 柴油引擎噴射油控制系統電磁閥之故障。該診斷系統之硬體與軟體已經發展完成。

参考文献

1. Bloch, G., Ouladsine, M., and Thomas, P., “*On-Line fault diagnosis system via robust parameter estimation,*” *Control Eng. Practice*, Vol. 3, No. 12, pp.1709-1717, 1995.
2. Duyar, A. and Merrill, W., “*Fault Diagnosis for the Space Shuttle Main Engine,*” *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, Vol. 15, No.2, pp.384-389, 1992.
3. Fiengo, G., Glielmo, L., Santini, S., Caraceni, A., “*A fault diagnosis algorithm for three-way catalytic converters,*” *Proceedings of AVEC 2000 5th Int'l Symposium on Advanced Vehicle Control August pp.22-24, 2000.*
4. Frank, P. M., and Köppen – Seliger, B., “*Fuzzy logic and neural network applications to fault diagnosis to fault diagnosis,*” *Int. J. Approximate Reasoning*, Vol. 16, pp.67-88, 1997.
5. Freyermuth, B. and R. Isermann, “*Model incipient fault diagnosis of industrial robots via parameter estimation and feature classification,*” *Proc. European Control Conf., Grenoble*, pp. 115-121, 1991.
6. Ge, W. and C. Z. Fang, C.Z.,” *Detection of faulty components via robust observation,*” *Int. J. Control*, 47, 581-599, 1988.
7. Gertler, J., Costin, M., Fang, X., Kowalczyk, Z., Kunwer, M., and Monajemy, R., “*Model based diagnosis for automotive engines – Algorithm development and testing on a production vehicle,*” *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, Vol. 3, No. 1, 1995.
8. Grimaldi, C.N., Mariani, F., “*On Board Diagnosis of Internal Combustion Engine:A New Definition and Experimental Validation,*” *SAE paper*, 970211, 1997.
9. Horch, A., “*A simple method for detection of stiction in control valves,*” *Control Engineering Practice* vol. 7, pp.1221-1231, 1999.
10. Horak, T., “*System failure isolation in dynamic systems,*” *Journal of Guidance, and control, and dynamics*, Vol. 13, No. 6, 1990.
11. Isermann, R., ”*Process fault diagnosis with parameter estimation methods,*” *Proc. IFAC Digital Computer Application to Process Control*, Vienna, pp. 51-60, 1984.
12. Koike, N., Kumagai, Y., Nakamura, K., “*Development of detection system for abnormal wear of engine bearings,*” *JSAE review*, Vol.19, pp.27-32, 1998.
13. Krishnaswami, V., Luh, G.C., and Rizzoni, G., “*Nonlinear parity equation based residual generation for diagnosis of automotive engine faults,*” *Control Eng. Practice*, Vol. 3, No. 10, pp.1385-1392, 1995.

14. Krishnaswami, V., Siviero, C., Carbognani, F., Rizzoni, G., and Utkin, V, “*Application of sliding mode observers to automobile powertrain diagnostics,*” Proceedings of IEEE International Conference on Control Applications, Dearborn, MI, pp.355 – 360, 1996.
15. Nyberg, M., “ *Automatic design of diagnosis system with application to an automotive engine,*” Control Engineering Practice vol. 7, pp. 993-1005, 1999.
16. Patton, R. J. and Chen, J., ” *A robust parity space approach to fault diagnosis based on optimal eigenstructure assignment,*” Proc. International Conf. on Control 91, Vol. 2, pp. 1056-1061, 1991.
17. Patton, R. J, Frank, P. and Clark, R.,“ *Fault Diagnosis in Dynamic Systems: Theory and Application,*” Prentice-Hall. Englewood Cliffs. N.J., 1989.
18. Patton, R. J., Chen, J. and Siew, T.M., “*Fault diagnosis in nonlinear systems via neural networks,*” Proc. International Conf. on Control 94, Vol. 2, pp. 1346-1351, 1994.
19. Sarah, K., “ *Sliding mode observers for fault detection and isolation,*” Automatica vol. 36, pp. 541-553, 2000.
20. Soliman, A., Krishnaswami, V., and Rizzoni, G., “ *The application of fuzzy logic to the diagnosis of automotive systems,*” SAE paper 970208, 1997.
21. Soliman, A., Rizzoni, G., Kim, Y. W., “ *Diagnosis of an automotive emission control system using fuzzy inference,*” Control Engineering Practice, Vol.7, pp.209-216, 1999.
22. Takasugi, M., Sonoda, Y., Isaka, T., Oshima, M., Watanabe, T., “*Development of an on-board gradient data acquisition system,*” JSAE review, vol. 18, pp.301-322, 1997.
23. Vemuri, T., “ *Diagnosis of sensor bias faults,*” Proceedings of the American Control Conference San Diego, California, 1999.
24. Viswanadham, N. and R. Srichander, “*Fault detection using unknown-input observers,*” Control Theory Adv. Technol., Vol. 3, pp.91-101, 1987.
25. Wang, H.,Huang, Z.J., and Daley, S.,”*On the use of Adaptive Updating Rules for Actuator and Sensor Fault Diagnosis,*” Automatica, Vol. 33, No.2, pp.217-225, 1997.
26. Yu, D., “*Fault diagnosis for a hydraulic drive system using a parameter-estimation method,*” Control Eng. Practice, Vol. 5, No. 9, pp.1283-1291, 1977.
27. Yu, D. L., Gomm, J. B., Williams, D., “ *Sensor fault diagnosis in a chemical process via RBF neural networks,* ” Control Engineering Practice vol. 7, pp.49-55, 1999.
28. Zhang, J. and Roberts, P.D., “ *On-line process fault diagnosis using neural*

network techniques,” Trans. Inst. Meas. Control. Vol. **14**, pp.179-188, 1992.

附錄一 期末審查意見回覆:

- (1)排放標準管制策略之檢測標準提供具體建議以 3000c.c 為分際分析 1.擅調與 NO_x 之關係。2.噴射系統故障與 NO_x 排放影響。

答覆:省略

- (2)結果相當明確，具參考價值，尤其故障與 NO_x 之關聯性有非常清楚地探討。

答覆: 謝謝委員的鼓勵。

- (3)研究方法及內容詳盡，成果豐富。

答覆: 謝謝委員的鼓勵。

- (4)為避免擅調現象發生，是否除量測 NO_x 和黑煙排放外，另外量測其輸出馬力，可以成為量測排放參考。

答覆: 謝謝委員指教。要判斷是否有經過擅調，依我們的研究是可以經由量測噴射系統之柴油壓力來做擅調分析。但是就如委員所說的: 在綜合判斷上，若是能有馬力的量測值來做輔助判斷是最佳的，也最不容易引起誤判。另外，利用噴射系統之柴油壓力來做擅調分析，可以在沒有動力計的設備時，例如路邊攔檢時做擅調診斷。

- (5)本計劃成果與預期工作項目均能互相呼應，對環保署有很好的參考價值。

答覆: 謝謝委員的鼓勵。

- (6)如何判斷車輛是因為本身零件故障或擅調所造成的壓力波異常？

答覆: 謝謝委員指教，依照本團隊在去年所做的永續會計畫: 柴油引擎噴油系統線上故障診斷技術之研究與發展-----子計劃三柴油引擎噴射系統數學模式與噴射壓力波形之故障特徵識別資料庫建立。計畫中的研究結果指出: 噴射系統零件故障與擅調所造成的壓力波形異常的特徵是不相同的，所以是可以分辨的。因此，透過噴射系統之柴油壓力波形特徵的比對，就可以知道此特徵是擅調或是噴射系統零件故障。

對空氣污染防治工作之具體建議

本計畫對空氣污染防治工作之具體建議如下：

1. 使用中柴油車 NOx 排放管制之主要功能為督促車主正常保養。

由本計畫之研究成果顯示，柴油車若無故障並進行正常保養，NOx 之劣化不嚴重，和新車審驗時所提出之劣化係數相符；只有車輛有元件故障時，才會排放出大量 NOx，因此使用中柴油車 NOx 排放管制之主要目的為督促車主正常保養車輛。

2. 擅調確實會降低 NOx 的排放量，因此在執行檢測 NOx 的排放量之前，必須先檢查該車是否經擅調。

擅調意指柴油車主為了規避受罰，於檢測前先將柴油引擎噴射泵之最大噴油量減少，如此引擎輸出馬力將降低，且廢氣排量減少，通過檢測之後再將油量調回。自從環保署開始推動使用中柴油車動力站排煙檢測以來，柴油引擎最大噴油量設定螺絲的擅調一直是最為棘手的問題。因為它導致所檢測的數據失真，不僅無法確實反映出國內柴油車的污染排放水準，更重要的是大大折扣了污染管制效果。由圖 1 可發現，擅調確實會降低了受檢車輛之 NOx 排放量，以致影響 NOx 檢測的準確性。因此，為防止此類問題的發生，建議在執行檢測柴油車 NOx 的排放量之前，必須檢查該車是否經擅調。也就是說若經馬力試驗機檢測，未達額定馬力的 30% 以上，則判定該車企圖以擅調來逃避檢測的準確性，直接判定該車未達管制標準。換言之，只有通過馬力檢測達額定馬力的 30% 以上才有資格進行 NOx 的排放量檢測。

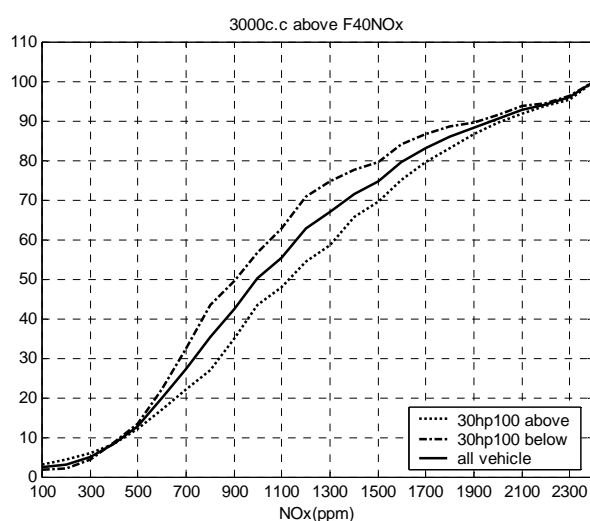


圖 1 擅調對檢測柴油車 NOx 排放濃度的比較圖。

3. 本計畫所發展之擅調判別方法，可以用來來進行路邊攔檢時車輛是否有私自放油或縮油之擅調情形。

柴油車之擅調包括放油與縮油，放油主要為了加大車輛之馬力，此一行為將導致車輛大量排出黑煙與 NOx，而縮油主要為了規避檢查。在動力站做 NOx 檢測時可由馬力試驗機來檢查柴油車是否經車主擅調，但在執行路邊攔檢時則因場地關係無法使用馬力試驗機，因此，可利用本計畫所發展的方法來代替，其此方法之架構如圖 2 所示，此方法為量測柴油車噴油系統之高壓油管動態壓力變化訊號，並利用倒傳遞神經網路學習架構來判斷噴油系統是否經過擅調。

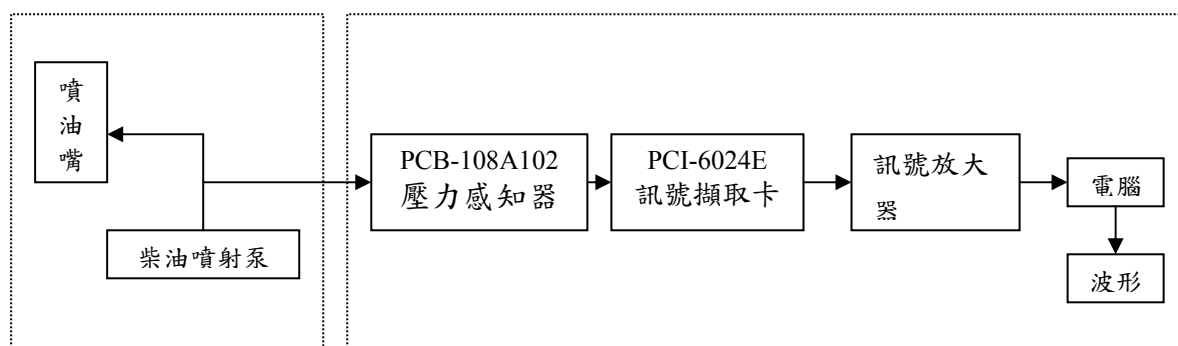


圖 2 實驗架構圖

4. 在執行檢測柴油車 NOx 的排放量時，無須做怠速時 NOx 的排放檢測。

如圖 3 所示，可發現無論是中、大型車或小型車在怠速檢測 NOx 的排放量時，無論是否經擅調其 NOx 的排放量都很低。因此，建議在執行檢測柴油車 NOx 的排放量時，無須做怠速時 NOx 的排放檢測。

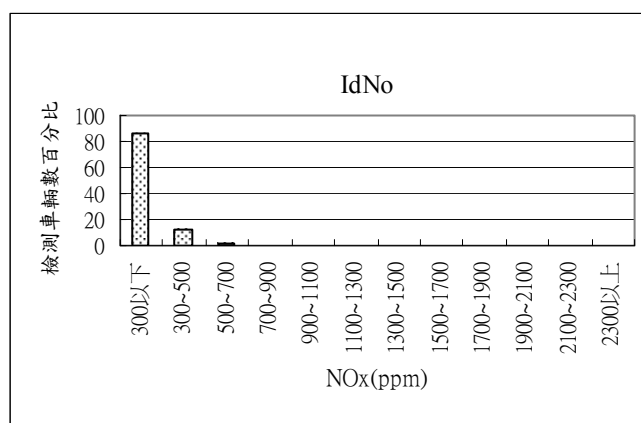


圖 3 柴油車在怠速時的 NOx 濃度分佈

5. 進行 NOx 的排放檢測時，建議以全負載 40%定轉速的條件下，來擬定 NOx 的排放標準較適當。

如圖 4 所示，可明顯的看出在全負載 40%定轉速下所檢測 NOx 的排放量最高，也就說全負載 40%定轉速 NOx 的排放量以包含了怠速、全負載 60%定轉速和全負載 100%定轉速的排放量。因此，建議以全負載 40%定轉速的條件下，來擬定 NOx 的排放標準較適當。

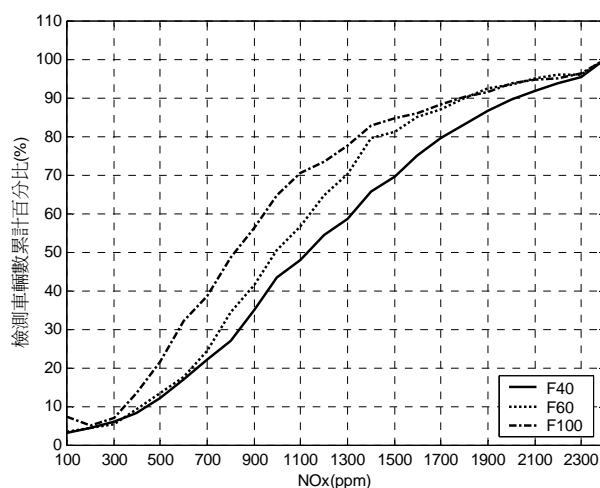


圖 4 3000c.c 以上柴油車在三種不同檢測條件下 NOx 排放濃度百分比累計趨勢比較圖。橫軸為 NOx 的排放量，縱軸為檢測車輛數累計百分比。

6. 擬定 NOx 的排放管制標準時，建議分別擬定 3000c.c 以下與 3000c.c 以上兩種不同的 NOx 排放標準，以符合最佳的管制效果。

因為從全負載 40%定轉速下 NOx 的排放情形來看，如圖 5 所示，可發現 3000c.c 以下的柴油車與 3000c.c 以上的柴油車，其 NOx 排放的分佈有很大的差異。因此建議必須分別擬定 3000c.c 以下與 3000c.c 以上兩種不同的 NOx 排放標準，以符合最佳的管制效果。

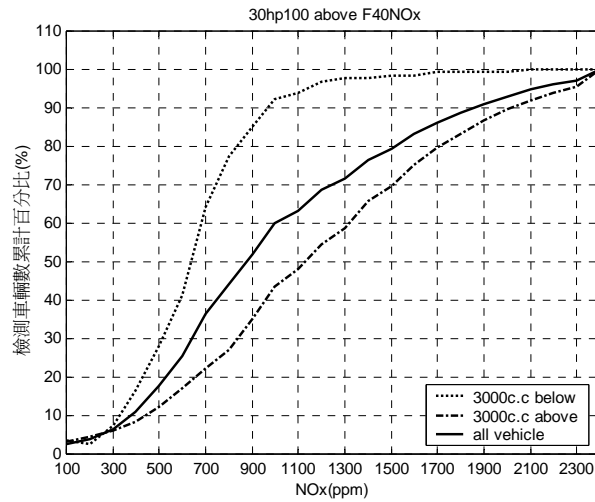


圖 5 全負載 40%定轉速檢測未經擅調的 NOx 濃度百分比累計趨勢圖

7. 本計畫所發展之 EDC 柴油引擎噴射油控制系統診斷設備，能直接診斷元件是否故障，若推廣至各保養場，可以作為先期預防污染排放之工具。