

使用觸媒濾煙器對農用柴油引擎性能 及污染物排放之影響

黃慶祥¹，朱健松²，周瑞仁³

1. 國立台灣大學生物產業機電工程所博士研究生、國立嘉義大學生物機電系副教授
2. 國立嘉義大學生物機電系講師
3. 國立台灣大學生物產業機電工程學系教授，本文通訊作者

摘 要

濾煙器為降低柴油引擎排煙之後處理裝置，但在農機產業上迄無應用實例。本研究配合農機引擎之穩態運轉特性，製作陶瓷蜂巢壁流型觸媒濾煙器，將其裝配於農用曳引機柴油引擎上進行試驗，以探討濾煙器對引擎性能及污染物排放之影響。

試驗結果顯示：裝配觸媒濾煙器可有效降低排煙，其濾煙效率在 70% 以上。加裝濾煙器後，排氣背壓增加，燃料消耗率增加 3~12%；且引擎燃燒溫度相對增高，使一氧化碳排量減少 6%~28%；低負載時氮氧化物排量增加 6~17%，但在高負載時則無差異。

由於農用柴油引擎經常處於定轉速高負載之運轉環境，因此農用柴油引擎裝配經適當設計的觸媒濾煙器可有效濾除排煙，降低一氧化碳排量但不增加氮氧化物排放，其負面效應則是耗油率增加。

關鍵詞：柴油引擎、微粒、濾煙器

PERFORMANCE AND EMISSIONS OF AN AGRICULTURAL DIESEL ENGINE FITTED WITH A CATALYZED TRAP OXIDIZER

Ching-Shyang Hwang¹, Jain-Song Ju², Jui-Jen Chou³

1. *Ph. D. Candidate, Department of Bio-Industrial Mechatronics Engineering, National Taiwan University.*
Associate Professor, Department of Biomechatronics Engineering, National Chiayi University.
2. *Instructor, Department of Biomechatronics Engineering, National Chiayi University.*
3. *Professor, Department of Bio-Industrial Mechatronics Engineering, National Taiwan University, Corresponding Author.*

ABSTRACT

Although particulate traps have been employed for the collection of the soot from diesel exhaust, there is no such an application to agricultural diesel engines whose operation characteristics significantly differ from those in industry. A catalyzed

wall flow particulate trap was built and fitted to a farm tractor engine in order to investigate its effects on performance and emissions of the engine.

Experimental results showed that more than 70% of the smoke exhausted from the engine fitted with a catalyzed trap oxidizer was removed. The decrease in the concentration of CO was between 6% and 28%. In contrast the NO_x concentration increased with the range of 6~17% at low load operations of the engine, but it was not changed at higher load conditions. As being predicted that the efficiency of an engine fitted with a trap decreases due to the increase of the exhaust back-pressure, the specific fuel consumption increased 3~12 % accordingly.

Generally agricultural diesel engine is operated at constant speed and higher load condition, therefore such an engine retrofitted with a catalyzed trap oxidizer is capable of reducing its exhaust smoke and CO emission but without the increases in the concentration of NO_x. The negative is that the specific fuel consumption increases with some significance.

Keywords: Diesel engine, Particulate matter, Trap oxidizer

一、前言

柴油引擎具有省油、高扭力的優點，因而廣泛用於農業機械、交通運輸、工業機械作為動力，但也被視為主要的空氣污染源。柴油引擎所排放的廢氣污染物主要為微粒狀物(PM)、一氧化碳(CO)、氮化合物(NO_x)及碳氫化合物(HC)，其中一氧化碳含量甚微可忽略，碳氫化合物之排量約為汽油引擎之五分之一，氮化合物排放量與汽油引擎相若，但粒狀物之排放則遠高於汽油引擎(Heywood, 1989)。柴油引擎排放的粒狀物基本上為燃燒過程所形成之碳煙(Soot)，其表面吸附碳氫化合物(包括含氧性碳氫化合物如酮類及多環芳香碳氫化合物 PAHs)，形成黑煙，具有臭味，感冒病毒等亦附著其上隨處傳播，經由呼吸系統進入人體後，沉積於氣管及肺泡(Morgan et al., 1997; Cantrell and Watts, 1997; Birchy and Cary, 1996)，造成人體健康及環境之重大危害。

改善柴油引擎排氣污染的方法著重於燃燒過程設計及引擎運轉條件控制，在排氣後處理方面，可以濾煙器(Particulate trap)過濾引擎排氣中的微粒。濾煙器的原理為讓引擎排氣通過孔隙微小緊密的濾蕊，截留煙粒而達到過濾的功能。濾煙器之濾蕊可以各種材料如陶瓷、線網、矽纖維等製成，各有不同的壓力損失及濾煙效率。濾煙

器使用一段時間後，煙粒堆積於濾蕊之孔隙上，引擎排氣背壓逐漸增加，引擎馬力輸出降低，甚至造成引擎過熱現象。將濾煙器內堆積之煙粒藉氧化燃燒以去除之，可使濾煙器回復過濾功能，此過程稱為再生(Regeneration)，其基本原理為：(1)加熱排氣以提高其溫度至煙粒燃點以上，或(2)濾蕊覆以觸媒或於燃油中添加觸媒以降低煙粒燃點至排氣溫度以下(Pulkrabek, 1997; Neef et al., 1996; Clerc, 1996; Johnson et al., 1994)。

台灣地區近二十餘年來，由於整體社會逐漸轉型為工商經濟，農村勞力缺乏，加以各種農業機械不斷研發成功，使用於農業生產之農業機械數量急速增加。在動力方面，除小型農機如噴霧器、割草機外，幾全已使用柴油引擎。依據民國八十五年台灣省政府農業年報(台灣省政府農林廳, 1996)統計資料，台灣地區以柴油引擎為動力之農業機械合計達十六萬六千餘部，數量約為機動柴油車輛的三分之二。如此龐大數量之柴油引擎因使用於開闊的田區，引擎排放之廢氣對空氣品質的影響較不受注意，也缺乏確切的研究數據，但對空氣品質有若干程度的影響是顯而易見的。

為改善空氣品質，行政院環保署已著手規畫非道路機械的引擎排氣污染規範，農機引擎的排氣污染勢將受到法規管制。本文作者曾參照中華

民國國家標準類號D3174 柴油車無負載急加速排煙試驗法，就國內普遍使用的數種廠牌農用曳引機引擎進行暫態運轉排煙測試，發現排煙度泰半無法符合排煙標準，農用柴油引擎之排煙度有待改善以降低空氣污染，裝配濾煙器為可行方法。

市售之陶瓷蜂巢壁流型濾煙器(Ceramic honeycomb wall flow trap) 係供重型柴油機動車輛使用，雖效果良好，唯再生裝置與控制系統複雜，售價昂貴，有高達二十萬元者，且其規格係針對重型柴油引擎設計，實不宜直接用於農機柴油引擎。因此，選用低成本農用柴油引擎濾煙器的可行性值得探討。

二、研究目的

現有農用柴油引擎尚無裝配濾煙器的例子，本研究的目的在配合農機穩態運轉特性，依引擎規格選用製作合適尺寸的觸媒濾煙器，將其裝配於農用曳引機柴油引擎上進行試驗，藉以探討其降低排煙效果及對引擎性能之影響，作為政府輔導推廣農機使用者裝配濾煙器的政策參考。

三、文獻探討

依美國環境保護署的定義，引擎所排放的微粒(Particulate matter)為：引擎排氣在溫度 52°C 或以下，排氣中除水份以外，可以濾器過濾的任何物質(Ferguson, 1986)。柴油引擎排放的微粒質量可以(1)煙度計(Smoke meter)或(2)稀釋道分析法(Analysis of dilution tunnel)加以量測。稀釋道模擬引擎排氣在大氣中的物理與化學過程，將空氣打入稀釋道內，以稀釋排氣並降溫至 52°C ，再由取樣系統擷取樣品後過濾。煙度計量測通過排氣通道的相對光量或煙粒過濾紙上的相對反射光量，並未直接量測微粒質量，而係量測排氣中的可見煙粒(Visible smoke)，作為微粒排量的近似量測值(Heywood, 1989)。

Abthoff(1985) 將覆有觸媒之蜂巢壁流型濾煙器裝配於渦輪增壓 IDI 柴油引擎，過濾煙粒的效率可達 70% 以上。因煙粒堆積而使排氣背壓提

高，引擎增加噴油量以克服排氣阻力所造成的功率損失而使排氣溫度增高，溫度達 380°C 時，煙粒開始氧化，於 570°C 時完全再生；濾煙器是部分再生或完全再生決定於排氣溫度、排氣含氧量、排氣流量及煙粒負荷。此型濾煙器已量產，裝配於賓士 1985 年 300SD 及 300D 車型。

Engler et al. (1986)將蜂巢式陶瓷濾煙器裝於引擎上，以 2900rpm 及 33N 運轉，讓濾煙器進行煙粒負荷(Soot load)，當排氣背壓增至 150 mbar 時，將引擎負載增加，直到排氣背壓不再增高，維持此引擎負載 5 分鐘後，進一步增加引擎負載至排氣溫度達到煙粒燃點 520°C ，排氣背壓因煙粒燃燒而迅速降低。彼等以此循環試驗濾煙器的再生過程，發現覆以觸媒的濾煙器(Type D 313)可以降低煙粒燃點溫度 80°C ，濾煙效率受觸媒的影響有限，濾煙效率決定於孔隙大小的分佈狀態，另外，觸媒可縮短濾煙器的再生時間。

Niura等(1986)在研究濾煙器的再生性後，發現熱氧化技術--包括燃燒器及電熱加熱--存在若干不易克服的問題：燃燒器再生系統使濾煙器承受過高的熱應力而損壞；電熱再生系統引燃煙粒後，火燄無法徑向傳播而使濾煙器再生不完全。因而改採觸媒技術，將 1 g 的 $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 混於 10 cc 的水中做成液體觸媒，採用壁流式與泡沫式組合濾煙器，並施以 30 g 煙粒負荷，以 2L IDI 柴油引擎作試驗，在進行再生過程時，於濾煙器之入口正面噴以液體觸媒，引擎以 3000 rpm、4 kg/cm² 平均有效壓力運轉，實驗結果為：煙粒燃燒溫度降至 300°C ，也無觸媒性能劣化的現象發生，具有商業化的潛力。

排氣節流增加排氣壓力，其程度視節流閥孔口大小及排氣流量而定。高排氣背壓導致殘留廢氣增加，壓縮初期的溫度增高，引擎容積效率降低，同時，進排氣摩擦功增加，引擎有效功減少。基於此原理，Pattas等(1986)探討利用排氣節流以提高排氣溫度，使達到煙粒再生溫度的限制，經由理論分析及引擎試驗，獲致三項結論：排氣背壓提高 2-3 bar 可使排氣溫度在各種運轉模式(包括怠速)下達到濾煙器再生溫度(550°C 以上)；利用可變孔口節流閥可獲得固定的排氣過壓力(Over pressure)，使引擎軸輸出損失減至最低；利

用排氣節流須減少柴油噴射量。

Kiyota et al. (1986)發展泡沫式濾煙器系統。研究發現如濾床厚度超過 60 mm，排氣壓降陡升，而濾煙效率達到極限—60%；其再生系統包括：煙粒負荷感測裝置—煙粒量達 1.7 g/L時進行再生，進行再生過時，噴射正時延遲系統將噴射正時延遲，調整為上死點前 18°，以提升排氣溫度；若再生後煙粒仍繼續累積到可能燒毀濾煙器的程度時(2.6 g/L)，則由操作手執行強迫再生，噴射正時延遲與進氣節流併用，引擎怠速達 3000 rpm，三分鐘完成再生。歷經 50000 英哩耐久試驗，排煙量仍可達到 0.15g/mile 的目標。

McCabe and Sinkevitch(1987)以三支濾煙器（一支商業量產品，兩支實驗品分別塗佈觸媒 Pt 和 Ag，命名為 GMR-Pt 及 GMR-Ag）於通用 4.3L 柴油引擎進行氧化再生實驗。首先讓引擎以 1340rpm、19kPa 負載及 240°C 排氣溫度運轉，然後增加引擎轉速及負載，當排氣背壓突然下降，伴隨引擎轉速及負載之增加時，其排氣溫度視為再生溫度。實驗結果發現：無觸媒濾煙器可在 570°C 時快速再生，但在 540°C 以下排氣溫度，無觸媒濾煙器無再生作用；排氣溫度為 430°C 和 460°C 時，觸媒濾煙器的再生時間分別為 70 及 30 分鐘。塗佈觸媒 Pt 的濾煙器再生過程較快且較完全；瞬間將進氣節流可增進商業量產濾煙器的再生速率，但對實驗品濾煙器則無明顯效果；觸媒 Pt 對 CO 轉化最有效率，HC 轉化則使用觸媒 Ag 最好。

Arai et al. (1987)探討金屬網、泡沫型及壁流型三種濾煙器之特性，濾煙效率分別為 50%、50~60%及 20~80%，但即使塗佈觸媒或添加燃料觸媒，產生再生所需的車行速度高達 65 mph，實用性差，必須加裝再生系統。再生系統由排氣旁通道與濾煙器並聯構成，於濾煙器前方裝制電熱線或燃燒器。電熱系統於再生時，大部份排氣由旁通道排出，少量排氣以節氣門控制導入濾煙器，節氣門開啓角度 20°，煙粒負荷 4~4.8 g/L 使濾煙器安全再生，超過則濾煙器燒毀，反之，則再生不足。燃燒器系統加熱排氣，溫度約 600°C 時，濾煙器周緣部份再生不完全，溫度超過 700°C，則濾煙器燒毀，煙粒負荷與溫度必須加以控制；另外，燃燒器的點火可靠性甚差，將燃燒器點火

後 15 分鐘關閉，歷經 23 次試驗，燃燒器即失去點火功能。

Daly et al. (1993)經由實驗室熱重分析，發現銅對降低煙粒燃點溫度最具功效，能降低燃點溫度 250°C 以上，因此，研究以其溶液作為燃料添加劑。在燃料中添加 10~30 ppm 的銅，由引擎試驗，發現可降低煙度 80~90%，同時亦可減少氮氧化物排量，但能減低氮氧化物排量的原因則有待進一步研究。在實車運轉測試分面，分別於以 Gardner 6LXB 及 Detroit 6V-92TA 柴油引擎驅動的巴士上進行，行駛 3000 公里後，引擎 2000 rpm 時之排氣背壓為無明顯增加；30000 公里的里程後，最高的排氣背壓約為 15kPa，比 3000 公里時的 19kPa 為低。將添加劑濃度增為 50ppm 後，再進一步作八小時測試，排氣背壓不超過 7kPa，減少添加劑濃度使排氣背壓增至 21kPa 而無明顯的再生現象。研究數據顯示：以銅為主觸媒作為燃油添加劑僅輕微的增加大氣中的銅含量而不危及人體健康。

Awara et al. (1997)以理論分析及實驗探討於燃油中添加觸媒對陶瓷濾煙器再生過程的影響，60ppm 的銅添加劑可將活化能由 118kJ/g-mol 降至 102kJ/g-mol，再生效率由 25%提高至 83%。

Johnson et al. (1994)除了回顧重型柴油引擎之現代污染控制技術，污染物取樣及化學，物理、生物特性的量測方法外，還涵蓋過去二十年彼等進行濾煙器、觸媒轉化器與燃料結構對排氣污染響之研究結果。

Neeft et al. (1996)由文獻探討柴油引擎微粒污染控制技術，於管制規範沿革、測試方法及控制技術（燃料、引擎設計、排氣後處理）等有非常詳盡地析論。Clerc(1996)由引擎污染排放及運轉狀態、耐久性需求等觀點探討應用於柴油引擎觸媒技術之發展。

四、材料與方法

(一)觸媒濾煙器之製作

陶瓷蜂巢壁流型濾煙器以陶瓷材料做成蜂巢結構，其兩相鄰通道之一出口封閉，另一則進口

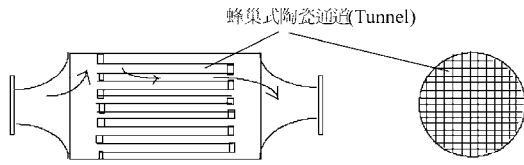


圖 1 陶瓷蜂巢式濾煙器之結構示意圖

Fig.1 Schematic diagram of ceramic honeycomb type particulate trap

封閉，引擎廢氣由進口處流入，被迫穿過管壁，由相鄰通道流出，煙粒遭截留而達濾煙效果。濾煙效果視孔隙大小、孔隙率及管壁厚度而定，陶瓷蜂巢式濾煙器之結構示意圖如圖 1。

影響濾煙器再生特性的主要參數為：(1)排氣溫度，須高於煙粒燃點，煙粒氧化燃燒溫度為 500~600°C，若濾蕊塗覆觸媒，氧化溫度降低至約 400°C (Johnson et al., 1994; McCabe et al., 1987)；(2)排氣流量；(3)排氣中之含氧量；(4)煙粒負荷。由文獻資料知，陶瓷蜂巢式濾煙器應用於機動車輛的主要問題在於：引擎處於負荷、轉速經常變動之暫態運轉，排氣溫度過低(150~350°C)，濾煙器無自我再生功能，必須借助再生裝置以進行強制再生，導致系統複雜昂貴。在農機引擎方面，為配合作業機之作業需求，引擎通常以定速穩態運轉，此與機動車輛引擎之暫態運轉不同，排氣溫度較高亦較穩定，若在引擎之正常運轉狀態下，排氣溫度高於煙粒燃點，則濾煙器處於連續自我再生(Continuous Self-regeneration)。

使煙粒產生氧化再生的濾煙器最小有效體積 (Effective volume) V_{min} 與引擎運轉模式 (亦即排氣溫度、排氣中含氧量) 有關；而濾煙器之最大有效體積 V_{max} 受限於安全再生需求 (過低排氣流速使濾蕊因溫度過高而損壞)。兩者可分別以式 (1)、式(2)決定 (Pattas et al., 1987b)：

$$V_{min} = V_{ex} \frac{\ln\left(\frac{1}{1-\eta_F}\right)}{A(O_2) \exp\left(\frac{-E}{RT_{ex}}\right)} \quad (1)$$

$$V_{max} = 2L \frac{V_{ex}}{V_o} \quad (2)$$

式中：

V_{ex} = 排氣流量 (m³/s)

T_{ex} = 排氣絕對溫度 (K)

η_F = 濾煙器效率 (%)

A = Arrhenius equation 頻率係數 (m³/g-s)

E = Activation energy (kJ/mol)

(O_2) = 排氣含氧濃度 (%)

L = 濾煙器通道淨長度 (m)

V_o = 排氣流速 (m/s) < 15m/s

考慮柴油引擎為稀油(Overall lean)燃燒，最大馬力輸出時之過量空氣係數(Excess air factor) λ 約為 1.3，典型之空氣燃料比 A/F=25:1，若假設進、排氣質量相同，排氣分子量與空氣相等，則由理想氣體定律，以(3)式計算排氣流量 V_{ex} ，其誤差尚可接受。進氣流量 V_{in} 可由式(4)求得：

$$V_{ex} = V_{in} \frac{P_a}{(P_a + BP)} \frac{T_{ex}}{T_{in}} \quad (3)$$

$$V_{in} = \eta_V V_d \frac{N}{120} \quad (4)$$

式中：

η_V = 容積效率 (%)

V_d = 引擎排氣量 (m³)

N = 引擎轉速 (rpm)

P_a = 大氣壓力 (kpa)

BP = 排氣背壓 (kpa)

T_{in} = 進氣絕對溫度 (K)

已知引擎速度為作業轉速，容積效率為定值。根據 Pattas 等人(1987a)之試驗，為維持燃料經濟性，濾煙器壓降不宜超過 30 kPa。A 及 E 可由文獻資料查得(Awara et al., 1997; Pauli et al., 1983; Mogaka et al., 1982; Otto et al., 1980)，排氣溫度可由引擎映像圖(Engine map)或實驗求得，設排氣溫度為 450°C。由(3)、(4)式求得排氣流量。柴油引擎排氣中含氧量 10~18%，假設含氧率 15%，濾煙效率為 90%，排氣流速 15 m/s，由(1)、(2)式可得濾煙器有效容積之上、下限。

本研究根據上述有效容積範圍，委託專業製造廠製作觸媒濾煙器，本體為陶瓷擔體，主塗層氧化鋁，並塗附觸媒：蓄氧素、活性劑及貴金屬鉑。其規格直徑為 152mm，長度 250mm，孔徑 0.25 μ m，孔隙率 50%，壁厚 0.41 mm。

(二) 試驗設備與試驗方法

1. 試驗引擎

Perkins 四汽缸四行程水冷自然進氣直接噴射式農用柴油引擎，其主要規格如下：

- ◆ 型號：4D248
- ◆ 汽缸直徑：104 mm
- ◆ 行程：115 mm
- ◆ 排氣量：3908 c.c.
- ◆ 最大馬力：80 PS/2500 rpm
- ◆ 燃料系統：分配式噴射泵，廠牌：Lucas CAV

2. 試驗設備

- ◆ 馬力試驗機：Tokyokoki-Schenck W70
- ◆ 煙度計：AVL Automatic Smoke Meter 407
- ◆ 氣相分析儀：IMR 3000P
- ◆ 柴油流量計：Oval Fuel Pet 4150
- ◆ 燃料：中油公司車用柴油

3. 試驗方法

- (1) 安裝試驗儀器設備如圖 2，並進行校正。
- (2) 模擬農機之田間作業，引擎以 1800、2000、2200、2400 rpm 定速運轉，調變馬力試驗機負荷，以 60、80、100、120、140 N 為變數進行試驗。
- (3) 量測記錄引擎耗油量、排煙污染度、O₂、CO、CO₂、NO_x 排量。
- (4) 換排氣管為濾煙器，重複步驟(2)、(3)。
- (5) 比較分析試驗結果。

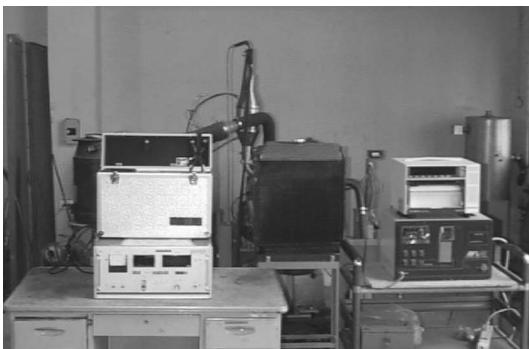


圖 2 實驗實體裝置

Fig.2 Experimental apparatus

(三) 排煙度量測與取樣方法

柴油引擎排放的微粒質量可以煙度計(Smoke meter)或稀釋道分析法(Analysis of dilution tunnel)加以量測，其含量以g/km(車輛行駛每公里的排量)或g/kW-hr(引擎運轉每千瓦小時的排量)或mg/m³(每立方米引擎排氣中的微粒含量)表示之。煙度量測光強度之光電管(Photocell)輸出與光強度衰減程度成正比，通常表為百分率N如式(5)所示(Recardo, 1999)，一般稱為污染度(%)，其值愈大，表示排煙濃度愈高。

$$N = \left(1 - \frac{I}{I_0}\right) \times 100\% \quad (5)$$

式中：

I ：含有煙粒成份時之光強度

I_0 ：不含有煙粒成份時(即只有清潔空氣)之光強度

取樣量測裝置示意圖如圖3所示(黃, 1999)。將熱偶溫度計分別裝於濾煙器之進、出口處以量測排氣進入濾煙器及由濾煙器排出的溫度。排氣經過濾煙器之壓力降以U形管壓力計量取。煙度計之取樣頭插入排氣尾管中 15 公分，為避免振動，取樣頭以另製夾具固定於濾煙器尾管。

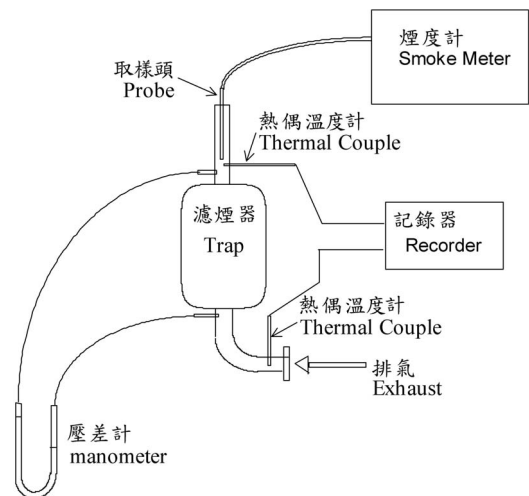


圖 3 試驗數據擷取裝置示意圖

Fig.3 Schematic of data acquisition apparatus

五、結果與討論

(一) 排煙污染度

圖 4 為在 2400 轉速時，不同引擎負載之下，引擎排煙度之比較，裝配濾煙器時之排煙污染度僅為 1~3%，而未使用濾煙器時，高低負載下之排煙污染度分別為 6~12% 不等，顯見濾煙效果良好。在 1800、2000、2200 rpm 時，其趨勢與圖 4 之情況類似，排煙污染度隨著引擎負載增加而增加，裝配觸媒濾煙器之排煙度皆低於裝配傳統排氣管者，當負載增大時，其濾除煙粒的效果尤為明顯。圖 5 為不同的引擎轉速在固定負載下，引擎排煙度之比較，亦顯示類似現象。

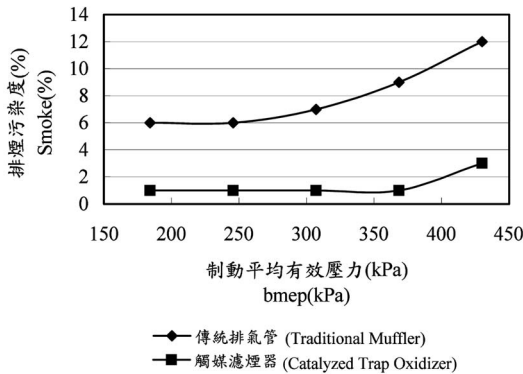


圖 4 2400 rpm 引擎轉速時不同負載之排煙污染度比較

Fig.4 Exhaust smoke of the engine at 2400rpm with various loads

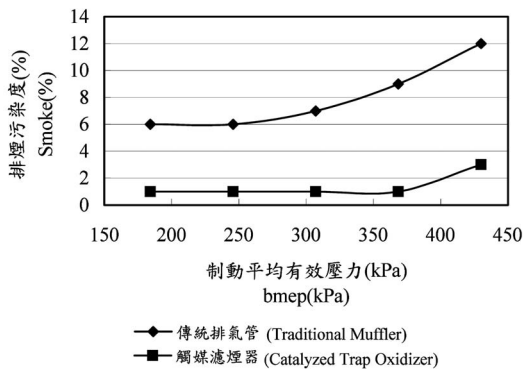


圖 5 固定負載下不同引擎轉速時之排煙污染度比較

Fig.5 Exhaust smoke of the engine at constant load with various engine speeds

參考 Awara et al (1997)、Widdershoven et al (1986)之濾煙效率定義，若定義濾煙效率 η_r 為：

$$\eta_r = \frac{\varphi_c - \varphi_T}{\varphi_c} \quad (6)$$

式中：

φ_c ：裝配傳統排氣管之排煙污染度 (%)

φ_T ：裝配濾煙排氣管之排煙污染度 (%)

則觸媒濾煙器之濾煙效率為 70~100%。此與國外研究結果相符。

(二) 濾煙器排氣壓降

圖 6 為引擎在定負載不同轉速時，排氣流經濾煙器之壓力降，排氣壓降隨轉速增高而增加。圖 7 為定轉速不同負載時之排氣壓降，排氣壓降

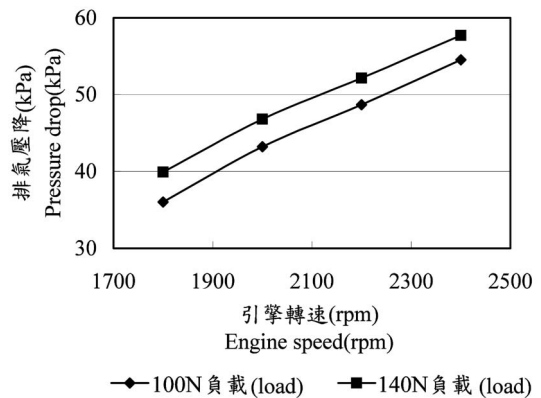


圖 6 引擎轉速與排氣壓降之關係

Fig.6 The relationship of the pressure drop across the trap and the engine speed

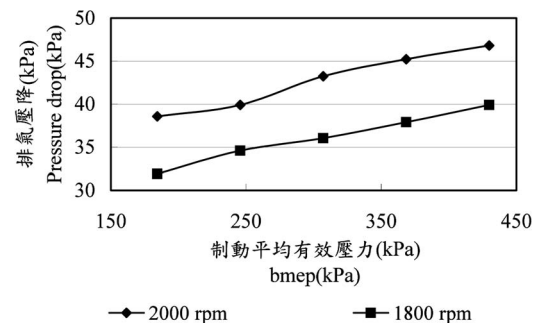


圖 7 引擎負載與排氣壓降之關係

Fig.7 The relationship of the pressure drop across the trap and the engine loads

亦隨負載增高而增加。排氣背壓增加影響引擎燃燒過程之熱力性質，排氣溫度提高，引擎摩擦功增加，耗油率與氮氧化物排量會相對增加乃可預期。

三) 一氧化碳與氮氧化物排量

圖 8 為引擎 1800rpm 轉速時不同負載下之一氧化碳排量，使用觸媒濾煙器產生排氣節流效應，引擎燃燒溫度相對提高，因此一氧化碳排量降低，不同轉數時之減量幅度由 6%至 28%不等。圖 9 為 1800 rpm 時之氮氧化物排量比較，由於氮

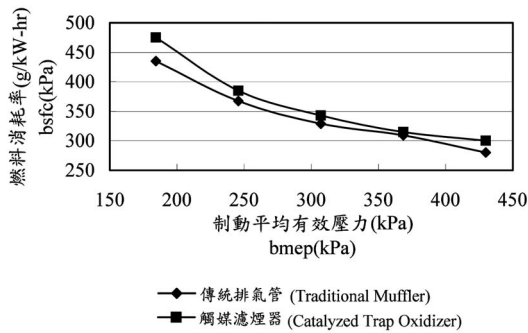


圖 8 引擎 1800rpm 轉速不同負載下之一氧化碳排量
Fig.8 CO concentration at 1800rpm with various loads

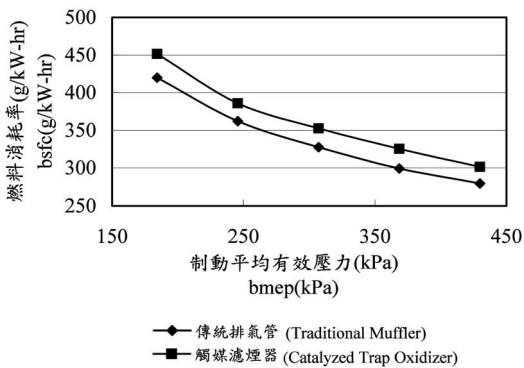


圖 9 引擎 1800rpm 轉速不同負載下之氮氧化物排量
Fig.9 NOx concentration at 1800rpm with various loads

氧化物排量與燃燒溫度有關，圖 9 顯示：低負載時氮氧化物排量增加，但在高負載時則無差異；不同轉數時之趨勢類似，在低負載的情況下其排量增加 6~17%。

四) 燃料經濟性

加裝濾煙器後，由於排氣背壓增大，為克服排氣阻力，引擎耗費的摩擦功較多，因此燃料消耗量(Brake fuel specific consumption, bsfc)勢必增加。圖 10、11 分別為引擎在不同負載之燃料消耗率，隨轉速之增加，燃料消耗率增加之幅度亦增

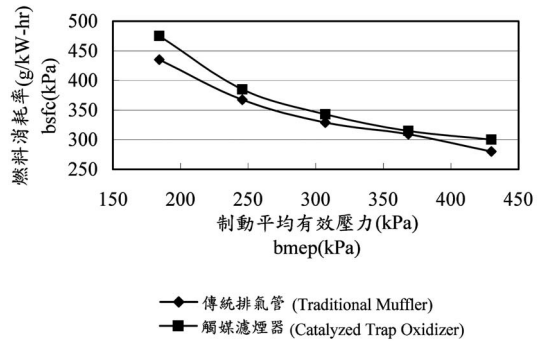


圖 10 引擎 1800rpm 轉速不同負載下之燃料消耗率
Fig.10 bsfc at 1800rpm with various loads

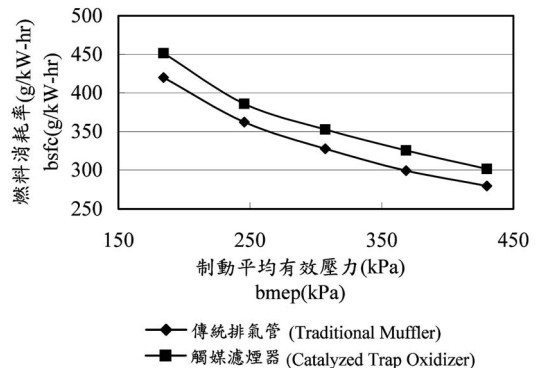


圖 11 引擎 2200rpm 轉速不同負載下之燃料消耗率
Fig.11 bsfc at 2200rpm with various loads

大，其幅度油 3% 至 12% 不等。燃料消耗率增加為裝配濾煙器的最大缺點。

(四) 煙粒氧化與濾煙器再生

圖 12、13 為引擎排氣溫度之比較，裝配濾煙器之引擎排氣溫度較高，有助於煙粒氧化。圖 12 顯示出：當溫度高於 330°C 時，濾煙器出口之溫度高於入口，代表煙粒於濾煙器中開始氧化，圖 14 之二氧化碳排量及圖 15 之排氣中含氧量可為佐證。當煙粒於濾煙器中開始氧化成二氧化碳及水氣，排氣中之二氧化碳排量增加而含氧量相對減少，因此濾煙器處於再生狀態下運作（黃，1999）。

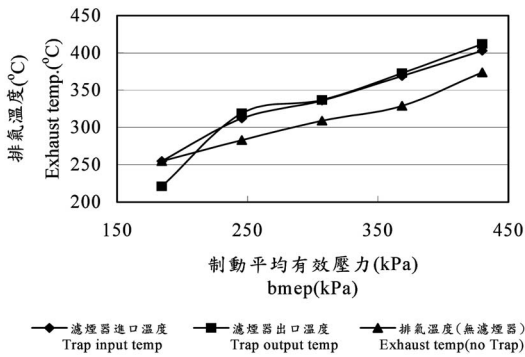


圖 12 1800 rpm 時引擎排氣溫度比較
Fig.12 Comparison of exhaust temp. at 1800 rpm engine speed

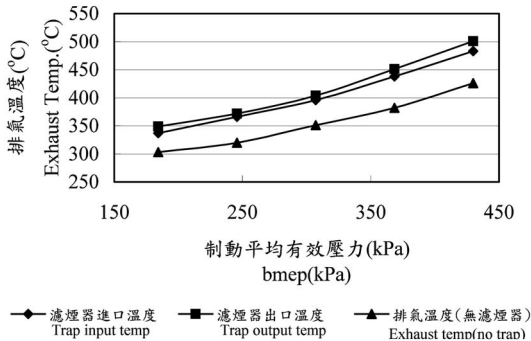


圖 13 2200 rpm 時引擎排氣溫度比較
Fig.13 Comparison of exhaust temp. at 2200 rpm engine speed

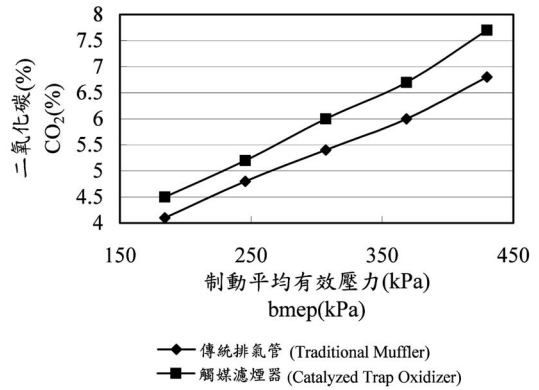


圖 14 2000 rpm 時 CO₂ 排量比較
Fig.14 Concentration of CO₂ at 2000 rpm engine speed

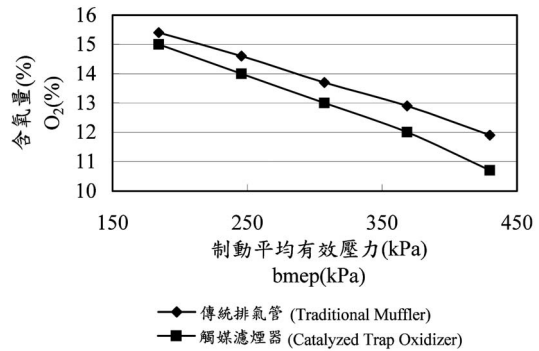


圖 15 2000 rpm 時引擎排氣含氧量比較
Fig.15 Content of O₂ in exhaust at 2000 rpm engine speed

六、結 論

綜合上述實驗結果，可得結論如下：

1. 濾煙器可有效濾除煙粒，其濾煙效率在 70% 以上。
2. 一氧化碳排量減少 6%~28%。氮氧化物排量在低負載時增加 6~17%，但在高負載時則無差異。
3. 加裝濾煙器增加耗油率 3% 至 12%。
4. 觸媒降低煙粒氧化溫度，於較高負載下可使濾煙器處於再生狀態下運轉。

農用柴油引擎經常處於定轉速高負載之運轉環境，由上述結論可知：農用柴油引擎

裝配觸媒濾煙器可有效濾除排煙，降低一氧化碳排放量但不增加氮氧化物排放，符合預期目標，其負面效應則是耗油率增加。

七、誌謝

本研究蒙李子健、謝其文兩位同學協助試驗工作，特此誌謝。

八、參考文獻

1. 台灣省政府農林廳。1996。台灣農業年報。南投：台灣省政府。
2. 黃慶祥。1999。農用柴油引擎線網式濾煙器之研製。嘉義技術學院學報 66：21-41。
3. Abthoff, J., H. Schuster and G. Loose. 1985. The Regenerable Trap Oxidizer---An Emission Control Technique for Diesel Engines. SAE paper 850015. USA: SAE International.
4. Arai, M., S. Miyashita, and K. Sato. 1987. Development and Selection of Diesel Particulate Trap Regeneration System. SAE Paper 870012. USA: SAE International.
5. Awara, A. E., C. N. Opris and J. H. Johnson. 1997. A Theoretical and Experimental Study of the Regeneration Process in a Silicon Carbide Particulate Trap Using a Copper Fuel Additive. SAE Transaction, 103: 325-346. USA: SAE International.
6. Birch, M. E., R. A. Cary. 1996. Elemental Carbon-Based Method for Monitoring Occupational Exposures to Particulate Diesel Exhaust. Aerosol Science and Technology. 25(3): 221-241. USA: Elsevier.
7. Cantrell Bruce K. and W. F. Watts, Jr. 1997. Diesel exhaust aerosol: Review of occupational exposure. Appl. Occup. Environ. Hyg. 12:1019-1027. USA: Elsevier.
8. Clerc, J. C. 1996. Catalytic Diesel Exhaust Aftertreatment. Applied Catalysis B: Environmental, 10: 99-115. USA: Elsevier.
9. Daly, D. T., D. L. McKinnon, J. R. Martin and D. A. Pavlich. 1993. A Diesel Particulate Regeneration System Using a Copper Fuel Additive. SAE Paper 930131. USA: SAE International.
10. Engler, B., E. Koberstein, and H. Volker. 1986. Catalytically Activated Diesel Particulate Traps --- New Development and Applications. SAE Paper 860007. USA: SAE International.
11. Ferguson, C. R. 1986. Internal Combustion Engines; Applied Thermosciences. USA: John Willy & Sons, Inc .
12. Heywood, J. B. 1989. Internal Combustion Engine Fundamentals. USA: McGraw-Hill Book Co.,
13. Johnson, J. H., S. T. Bagley, L. D. Gratz, and D. G. ledly. 1994. A Review of Diesel Particulate Control Technology and Emissions Effects-1992 Horning Memorial Award Lecture. SAE Paper 940233. USA: SAE International.
14. Kiyota, Y., K. Tsuji, S. Kume, and O. Nakayama, 1986. Development of Diesel trap Oxidizer System. SAE Paper 860294. USA: SAE International.
15. McCabe, R. W., R. M. Sinkevitch. 1987. Oxidation of Diesel Particulates by Catalyzed Wall-Flow Monolith Filter. SAE Paper 870009. USA: SAE International.
16. Mogaka Z. N., V. W. Wong and S. M. Shahed. 1982. Performance and Regeneration Characteristics of a Cellar Diesel Particulate Trap. SAE Paper 820272. USA: SAE International.
17. Morgan W. K. C., R. B. Regerand D. M. Yucker. 1997. Health effects of diesel emissions. Ann Occup. Hyg., 41: 643-658. USA: Elsevier.
18. Neeft, John P. A., M. makkee, J. A. Moulijn. 1996. Diesel Particulate Emission Control. Fuel Processing Technology 47:1-69. USA: Elsevier.
19. Niura, Y., K. Ohkubo, and K. Yagi. 1986. Study on Catalytic Regeneration of Ceramic Diesel Particulate Filter. SAE Paper 860290. USA: SAE International.

20. Otto K., M. H. Sieg, M. Zinbo and L. Bartosciewicz. 1980. The Oxidation of Soot Deposits from Diesel Engines. SAE Paper 800336. USA: SAE International.
21. Pattas, K. N., A. M. Stamatellos, P. S. Kikidis, J. K. Aidarinis, and Z. C. Samaras. 1986. Forced Regeneration by Exhaust Gas Throttling of the Ceramic Diesel Particulate Trap. SAE Paper 860293. USA: SAE International.
22. Pattas, K. N., Z. C. Samaras, and P. S. Kikidis. 1987a. Operation Characteristics of the Ceramic Diesel Particulate Trap. SAE Paper 870252. USA: SAE International.
23. Pattas, K. N. Z. C. Samaras, A. M. Stamatellos, and P. S. Kikidis. 1987b. Size Determination of the Ceramic Diesel Particulate Trap. SAE Paper 870253. USA: SAE International.
24. Pauli E., G. Lepperhoff and F. Pischinger. 1983. The description of the Regeneration Behavior of Diesel Particulate Traps with the Aid of a Mathematical Model. SAE Paper 1983. USA: SAE International.
25. Pulkrabek, W. W. 1997. Engineering Fundamentals of the Internal Combustion USA: Prentice-Hall, Inc.
26. Ricardo Consulting Engineers. 1999. Exhaust smoke, measurement and regulation. In "Diesel Engine Reference Book", 2nd edition, ed. Bernard Challen and Rodica Baranescu. P.461-470. USA: SAE International.
27. Widdershoven J., F. Pischinger, G. Lepperhoff, K. P. Schick, J. Strutz and, S. Stahlhut. 1986. Possibilities of Particle Reduction for Diesel Engines. SAE paper 860013. USA: SAE International.

