

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

柴油農機使用濾煙器之性能效益評估

The Retrofitting of a Wire Mesh Trap Oxidizer  
to Agricultural Diesel Machine

計畫類別：■個別型計畫□整合型計畫

計畫編號：NSC 87-EPA-P-021-001

個別型計畫：計畫主持人：黃慶祥  
研究人員：周瑞仁  
朱健松

執行單位：國立嘉義技術學院農業機械工程技術系

中華民國八十七年六月二十日

## 摘 要

本研究將可拆式濾煙器裝配於柴油農機上，進行實驗室及田間試驗，量測濾煙器降低引擎排煙之效果。

柴油引擎排放的煙粒燃點溫度高達520°C。實驗證實：柴油引擎裝配可拆式濾煙器，在1800 rpm全負載，排氣溫度達到535°C。經由重複負載試驗，濾煙器無堵塞情形發生。可拆式濾煙器之過濾能力隨負載增大而增加，燃料經濟性降低甚微，但濾煙效率較低為其缺點。

根據實驗室試驗結果改良濾煙器，將可拆式濾煙器裝於農用曳引機，以2.8及3.4公里/小時前進速度進行田間實際整地操作，濾煙效率分別為47%、46.6%。

可拆式濾煙器結構簡單，價格較便宜，燃油經濟性亦佳，無濾煙器堵塞的問題，不須使用再生裝置，但濾煙效率較低。結構設計最佳化以提升效率及耐久性試驗有待進一步的研究。

關鍵詞：柴油引擎、微粒、濾煙器

## Abstract

The metal wire mesh trap was retrofitted to agricultural diesel engine. Some characteristics and performance of the metal wire mesh trap on both laboratory and field tests are discussed.

The ignition temperature of diesel particulate is about 520°C. From the laboratory tests, it was found that the exhaust temperature of an engine retrofitted with wire mesh trap can be over 535°C at 1800 rpm with full load, and no clogged trap behavior has been observed. The wire mesh trap presented the progressive ability of filtering soot with increasing engine load, also the deterioration of fuel economic could be ignored, however the lower filtration efficiency is its main disadvantage.

Field tests showed that 47% and 46.6% of the soot filtration efficiencies were obtained at plowing operations at 2.8km/hr and 3.4km/hr of tractor forward speed respectively.

The wire mesh trap is characterized by its simple and rigid construction. There is no trap-plugging problem, no regeneration aids for this trap is needed, and also the wire mesh trap is not expensive comparing with wall flow trap. Trap Optimization for increasing efficiency and durability test remains for further study.

Keywords : Diesel Engine, Particulate, Trap Oxidizer

# 目 錄

	頁次
摘要.....	i
ABSTRACT.....	ii
目錄.....	iii
表目錄.....	iv
圖目錄.....	v
第一章 前言.....	1
第二章 研究目的.....	4
第三章 文獻探討.....	5
第四章 材料與方法.....	10
第五章 結果與討論.....	18
第六章 結論.....	25
參考文獻.....	27
附錄.....	29

## 表目錄

	頁次
表1. 田間試驗之濾煙器效率 .....	23

## 圖目錄

	頁次
圖1. 觸媒轉化器之結構示意圖.....	2
圖2. 陶瓷蜂巢式濾煙器之結構示意圖.....	3
圖3. 可拆式濾煙排氣管結構圖.....	11
圖4. 可拆式濾煙排氣管實體圖.....	11
圖5. 試驗取樣量測裝置示意圖.....	13
圖6. 實驗裝置實體圖.....	15
圖7. 田間試驗裝置實體圖.....	16
圖8. 再生溫度試驗結果.....	18
圖9. 引擎負載與排氣壓降之關係.....	19
圖10. 1000 rpm 引擎負載與排煙污染度之關係.....	20
圖11. 1600 rpm 引擎負載與排煙污染度之關係.....	20
圖12. 1800 rpm 引擎負載與排煙污染度之關係.....	21
圖13. 2000 rpm 引擎負載與排煙污染度之關係.....	21
圖14. 不同負載與轉速之濾煙效率.....	22
圖15. 1600 rpm 之燃料消耗比量.....	22
圖16. 1900 rpm 之燃料消耗比量.....	23
圖18. 3.4 km/hr前進速度之田間試驗結果.....	24
圖19. 2.8 km/hr前進速度之田間試驗結果.....	24

## 第一章 前言

柴油引擎具有省油、高扭力的優點，因而廣用於農業機械、交通運輸、工業機械作為動力。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闢的田區，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。

一般而言，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)、氮氧化合物(NO<sub>x</sub>)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，氮氧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，其成分中粒徑較大者即為眾所詬病的黑煙(Smoke)(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)，於排入大氣後吸附空氣中之碳氫化合物(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，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(Ferguson, 1986)。在排氣後處理方面，目前有兩種技術：(一)柴油引擎觸媒轉化器(Diesel Oxidtion Catalyst)；(二)以濾煙器(Trap Oxidizer)過濾引擎排氣中的微粒(SAE, 1993, 1987, 1986)。

觸媒轉化器利用氧化觸媒將排氣中之CO、HC轉化成CO<sub>2</sub>及H<sub>2</sub>O。柴油引擎觸媒轉化器為蜂巢直通式陶瓷結構，其陶瓷管壁內塗以氧化鋁之塗層

，另加儲氧素、穩定元素等，再以Pt為主觸媒塗佈於氧化鋁表面形成活性物質。當排氣流經觸媒時，CO及HC開始轉化，並使觸媒溫度增高，達一定溫度時，煙粒表面之有機成分(SOF)亦開始轉化，粒徑較小之煙粒可能被氧化，濾煙效率較低。觸媒轉化器之結構示意圖如圖1所示。

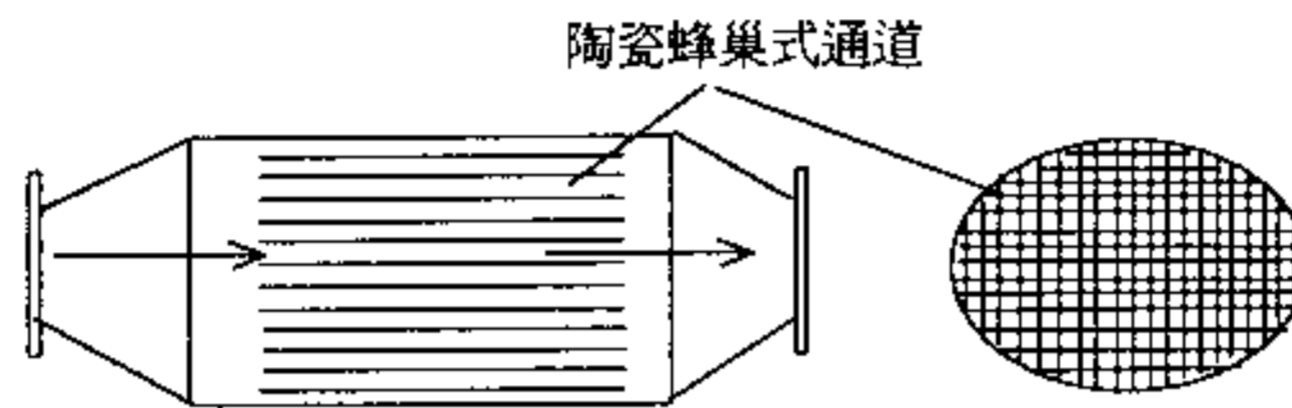


圖1. 觸媒轉化器之結構示意圖

濾煙器的研究發展始於1970年代中期，1985年首先應用於輕型柴油車，其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磁、線網、矽纖維等製成，各有不同的壓力損失及濾煙效率。坊間販售濾煙器之主要結構為陶瓷蜂巢式壁流型(Ceramic Honeycomb Wall Flow Trap)，其兩相鄰通道之一進口封閉，另一則出口封閉，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2。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)，其方法為：(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，濾蕊覆以觸媒約可降低煙粒燃點溫度達 $200^{\circ}\text{C}$  (Heywood, 1989, Pattas, 1985)，一旦煙粒氧化燃燒發生，必須嚴格控制其過程，以免再生不完全或因溫度過高而損壞濾煙器。非再生式濾煙器之再生須以人工方式為之，其方法是取下濾煙器，用高壓空氣鎗噴除

堆積煙粒，必要時將濾煙器置於高溫爐中，以550°C溫度燒去煙粒。濾煙器的再生能力經業界不斷的研究改良，已有使用不同技術的產品問世，唯價格昂貴使用成本高，主要用於市區巴士，商業上實際使用尚不普遍。

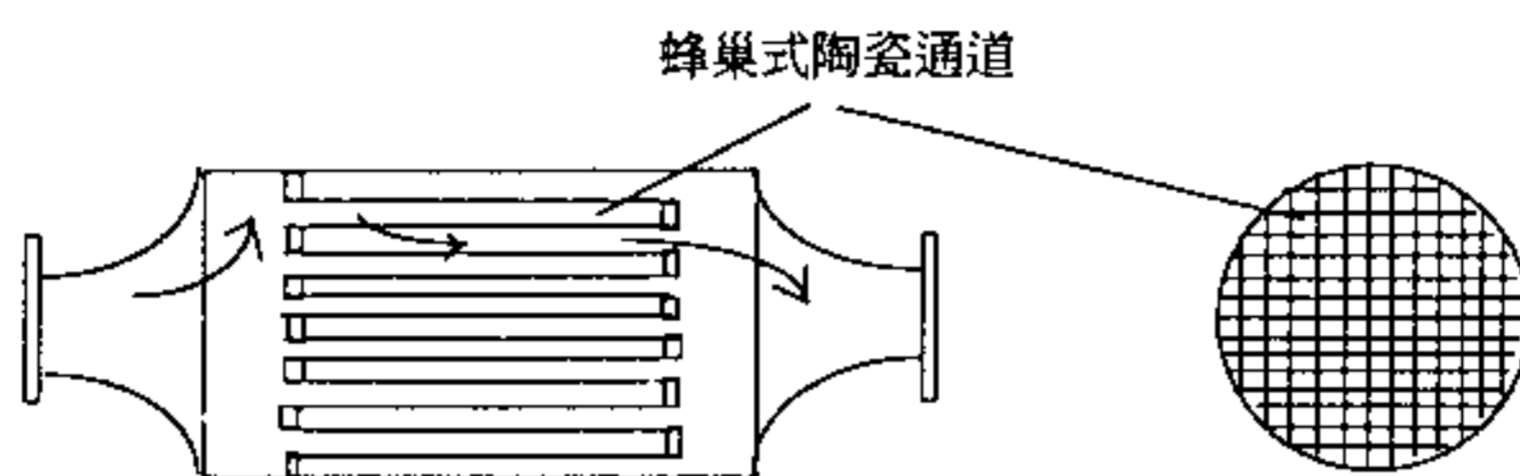


圖2. 陶瓷蜂巢式濾煙器之結構示意圖

農用柴油引擎之運轉狀態不同於一般機動車輛柴油引擎，田間作業條件的突然變動為不可抗力因素，例如：聯合收穫機因田間雜草纏繞或作物植株倒伏或田間低窪積水，造成引擎負荷過大，排放濃煙。現有農用柴油引擎並無裝配濾煙器的例子，將濾煙器裝用於農用柴油引擎，在農業作業環境下，能否有效發揮功能為值得探討的問題。

## 第二章 研究目的

本研究將濾煙器裝配於農用柴油引擎，於實驗室模擬實際田間運轉狀態進行試驗，藉以探討濾煙器裝配於農用柴油引擎之降低排煙效果及對引擎性能之影響，並以農用曳引機於田間進行實地操作，在農業作業條件下，量測濾煙器之降低排煙效果，評估濾煙器整體效益，作為政府輔導推廣農機使用者裝用濾煙器的政策參考。

### 第三章 文獻探討

依美國環境保護署的定義，引擎所排放的微粒(Particulate)為：引擎排氣經空氣稀釋後，在溫度52°C或以下，引擎排氣中除水份以外，可以濾器過濾的任何物質。柴油引擎所排放的微粒由兩部份組成：(一)固態碳煙(Soot)；(二)吸附於碳煙上的有機成分，有機成分來自碳氫化合物或其部份氧化物，亦有來自潤滑機油，空氣稀釋引擎排氣的過程影響有機成分含量(Ferguson, 1986, Mayer et al, 1980)。

Abthoff(1985)將覆有觸媒之蜂巢壁流型濾煙器裝配於渦輪增壓間接噴射柴油引擎，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(1986)將蜂巢式陶磁濾煙器裝於引擎上，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。

Mihara等人(1986)以Mullite陶瓷纖維織成布樣織品，將織品摺成波浪型，其上下兩面覆以平面織品，成為厚度為1.0 mm之三明治狀織品，具有蜂巢式通道，再將其捲成圓筒狀作為濾蕊，兩相鄰通道之進出口交錯封閉，構成蜂巢式壁流型濾煙器。實驗結果顯示：此種結構可承受彎力29.6 kg/cm<sup>2</sup>，剪力1.1 kg/cm<sup>2</sup>，機械強度佳。以2350 rpm、46N-m運轉的2.2 L柴油引擎之部份排氣導入縮小尺寸的EPA型稀釋道，測得濾煙效率在80%以

上，排氣背壓隨煙粒負荷增加而提高。在耐久性方面，首先讓引擎空轉二分分鐘，然後將引擎轉速、負載分別提高至3300 rpm、118 N-m運轉一分鐘，排氣溫度達500°C，當排氣背壓超過30 kPa時，利用節流方法進行再生，此濾煙器可承受4500次再生過程。

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/cm<sup>2</sup>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。高排氣壓力導致殘留廢氣增加，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，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(1986)等四人發展泡床式濾煙器系統。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等(1987)探討金屬網、泡床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，濾煙器週緣部份再生不完全，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。

陶瓷纖維線圈式濾煙器，由中空管上纏繞陶瓷纖維線所構成，排氣流經陶瓷纖維線圈，利用煙粒吸附原理截留煙粒，再由中空管排出(Hardenberg et al, 1987)。濾煙效率高達99%，與壁流式濾煙器比較，效率較高而排氣壓降較低，無熱應力損壞之虞，但總表面積小，濾煙容量低，因而再生頻率高為其缺點。

Daly等三人(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10-30ppm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。在實車運轉測試方面，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，減低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。

除了陶瓷壁流式濾煙器外，尚有其他型式的濾煙器。Mayer(1993)等三人將陶瓷纖維編織網捲成波摺狀或捲筒狀作為濾蕊。此種濾煙器之過濾效率與纖維直徑、孔隙率有關，相同的直徑下，孔隙率低濾煙效率高。因陶瓷纖維編織網具有相當撓性，能抵抗熱應力而不虞損壞，此濾煙器可以使用任一種再生技術，實驗證明歷經十八個月50000公里運作，濾蕊仍然完好。

Kobashi(1993)等設計電熱式再生系統，將一旁通道與濾煙器並聯，由閘門控制排氣路徑。當進行濾煙器再生時，引擎排氣由旁通道排出，電加熱器由電瓶供給電能十分鐘，並注入氧氣，利用電熱引燃煙粒，其燃燒火焰傳播至濾煙器後端而燒去堆積煙粒。彼等以十五支熱偶溫度計量測濾煙器內各部位之溫度。於進行十次再生過程後，檢視濾煙器內部，發覺濾蕊有裂痕，最高溫度隨再生次數遞減，經再生過程後，濾煙器靠近週緣部位仍殘留未完全燃燒煙粒。其結論為：不完全再生及濾蕊龜裂現象無法避免，改善濾蕊材質才是防止發生龜裂現象的方法。

Majewski and Martin(1993)以商品化空氣濾清器作為濾煙器，以單缸4.3kW引擎試驗120小時，由於空氣濾清器的紙質濾蕊無法承受高溫，因此，引擎排氣先導入由三段式雙層管構成的熱交換器，使其溫度降至

100°C，再進入濾煙器，濾煙器的過濾效果可達100%，但濾蕊受煙粒阻塞，排氣壓降為9.5kPa。為了預防濾蕊著火燃燒，排氣溫度必須冷卻至100-110°C。

## 第四章 材料與方法

農用柴油引擎驅動作業機於田間作業，行駛速度甚慢(1.5~8公里/小時)，一般而言，為配合農機具作業需要，引擎通常以某一特定轉速運轉，由手油門設定引擎轉速為儀錶板上之廠家指定轉速範圍，農機前進速度則由操作者視田間條件以不同排檔設定，正常情況下，引擎作定轉速穩態輸出，當引擎遭遇負載變化時，引擎調速器自動增減噴油量以改變引擎功率輸出，與一般機動車輛如巴士之運轉型態不同(Bosch, 1985)。

本研究主要在評估濾煙排氣管裝配於農機柴油引擎對降低排煙之效益。對農機使用者而言，裝配濾煙器是一種成本負擔，過高的單價成本勢必會降低使用者的採用意願，農機的售價隨作業功能目標、機型大小種類而有甚大的差異，裝配適當售價的濾煙器應為成本觀點上的首要考慮。觸媒轉化器及觸媒轉化型濾煙器的結構及功能如第1~3頁所述，觸媒轉化器量產品價格約一至二萬元，唯經由實際測試，觸媒轉化器對降低排煙度並無功效。觸媒轉化型陶瓷濾煙器售價約三萬元，由文獻探討得知，觸媒轉化型濾煙器宜搭配再生系統，若含再生系統，則價格在十萬~二十萬元之間，使用成本偏高。本研究基於成本觀點選擇可拆式濾煙排氣管，配合農機運轉特性設計實驗方法。茲將實驗設備、材料與實驗方法分述如下：

### 一、可拆式濾煙排氣管

屬於深床式(Deep-Bed)濾煙器，利用擴散作用截留煙粒，延長排氣之駐留時間，當達到一定溫度時，產生二次燃燒作用，藉氧化燃燒去除部份煙粒，提高效果。濾煙器之結構及實體圖分別如圖3、圖4所示，將弧形鐵片焊於中空軸上(中空軸焊接於外殼之第一外管基座上)，覆以金屬線網，再以固定環鎖定過濾蕊材，將第二外管以螺絲鎖於第一外管上，成為可拆卸清洗的消音濾煙排氣管。引擎排氣經中空管由弧形導流片導入過濾室，由過濾蕊材過濾煙粒後排出(薛，1994)。本濾煙器之特點為無陶瓷體，不會損壞，未塗佈觸媒不會增加硫化物排量。

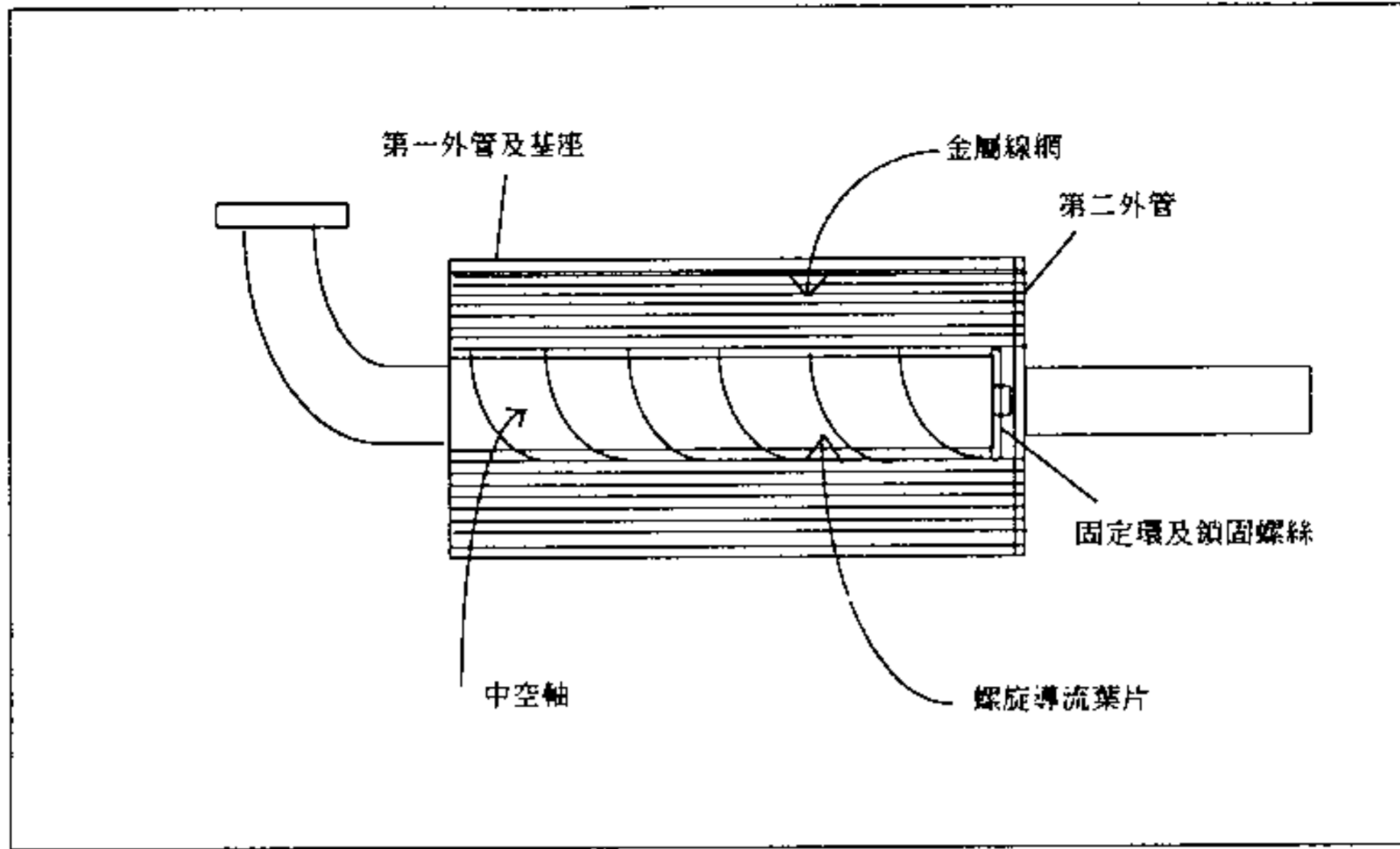


圖3 可拆式濾煙排氣管結構圖

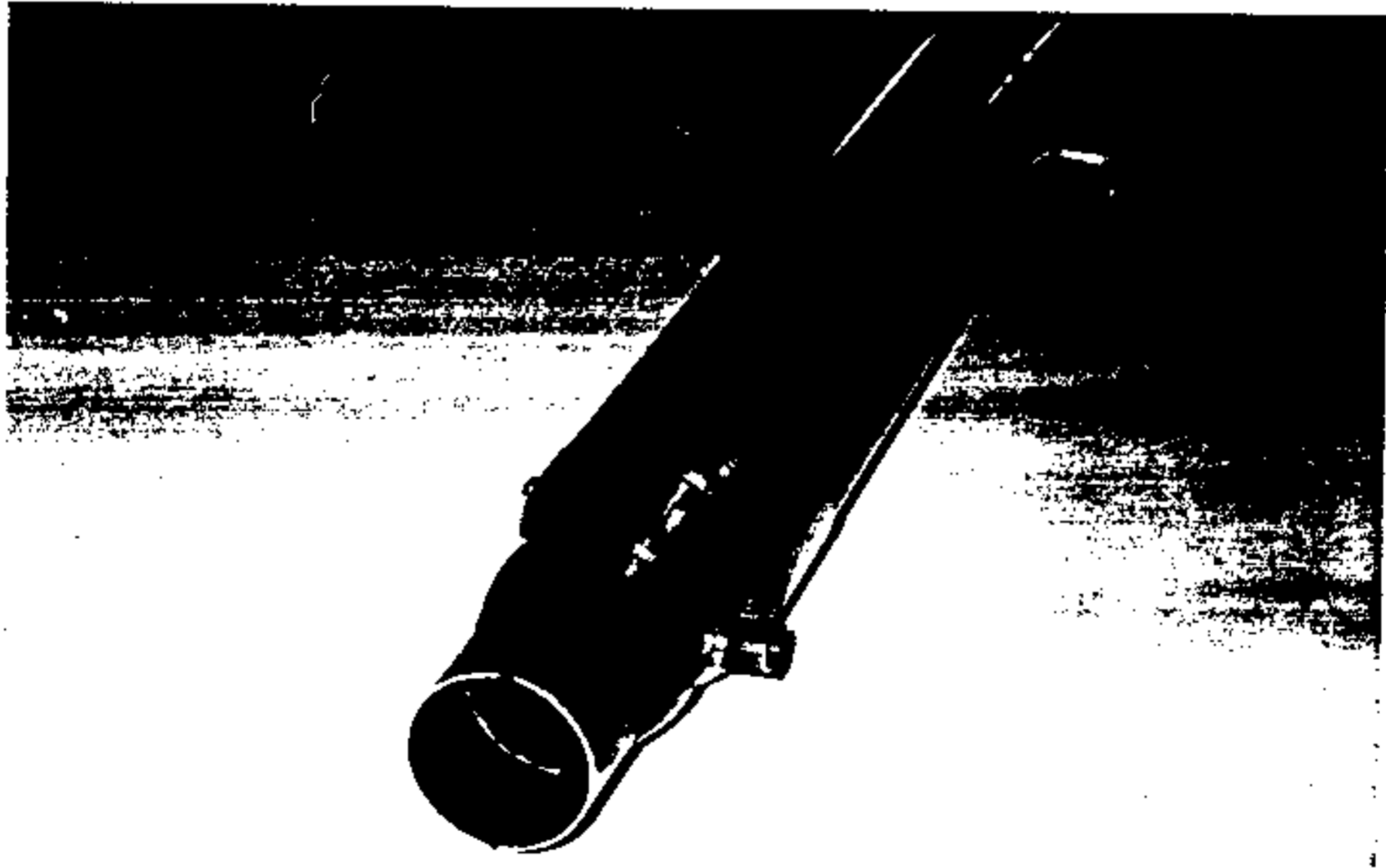


圖4 可拆式濾煙排氣管實體圖

## 二、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/m<sup>3</sup>(每立方米引擎排氣中的微粒含量)表示。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至溫度52°C，再由取樣系統擷取樣品後過濾。煙度量測取通過排氣的相對光量或煙粒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)。

本實驗所採用的煙度計廠牌為AVL Automatic Smoke Tester 407，係濾紙式光反射煙度計。取樣體積可設定為1/3公升或1公升，可單次取樣或連續三次取樣，本機具有取樣管路洩漏自動偵測及自動清除(Purge)管路內殘留廢氣的功能。煙度顯示值可為污染度%或單位體積含量mg/m<sup>3</sup>，線性誤差率±0.5%。電源可使用電瓶，方便田間作業量測。取樣時，先自動清除管路內殘留廢氣，取樣幫浦吸取定量體積的樣品，樣品流經廠家設計製造之固定長度管路至煙度計，冷卻至溫度50°C以下，由濾紙過濾後，光反射頭量測反射光量，計算後輸出煙度值。煙度值可以列表輸出及數字顯示。

取樣量測裝置示意圖如圖5所示。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25公分，為避免振動，取樣頭以另製夾具固定於濾煙器尾管。另以S型溫度計及濕度計、氣壓計量測大氣溫度與濕度、大氣壓(未顯示於圖中)。

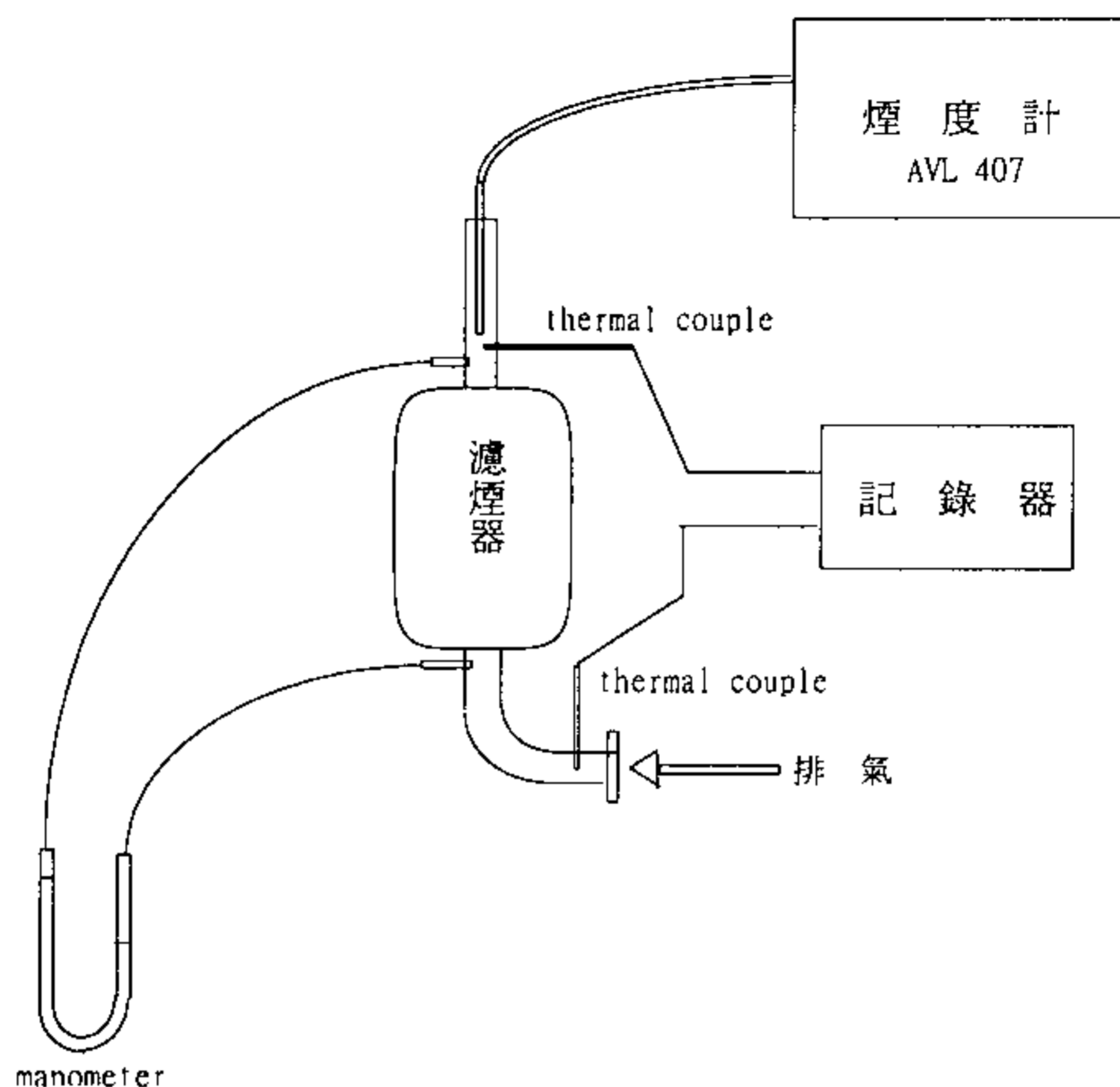


圖5 試驗取樣量測裝置示意圖

### 三、實驗室實驗

實驗室實驗在以馬力試驗機控制引擎之運轉條件，模擬田間狀況，獲得農機柴油引擎裝配濾煙器之基本性能數據。採用YANMAR單缸四行程水冷式自然進氣直接噴射式柴油引擎(已工作時數100小時)作為試驗引擎。

#### 1. 試驗引擎之主要規格

- ❖ 型號： TS 190R
- ❖ 汽缸直徑： 110 mm
- ❖ 行程： 106 mm
- ❖ 排氣量： 1007 c.c.
- ❖ 最大馬力： 19 PS/2200 r.p.m
- ❖ 燃料系統： Jerk Pump Type

## 2. 試驗設備

- ❖馬力試驗機：Tokyokoki-Schenck W70
- ❖煙度計：AVL Automatic Smoke Tester 407
- ❖柴油流量計：Oval Fuel Pet 4150
- ❖濕度計：LSI Mod.BSU484
- ❖進氣溫度計：熱偶式 S type
- ❖排氣溫度計：熱偶式 K type
- ❖排氣壓力計：Manomter
- ❖數據記錄器：LSI BABUC/M

## 3. 試驗步驟

- (1) 將試驗引擎以棧架連結於馬力試驗機，煙度取樣量測裝置示意圖如圖5所示。實驗裝置實體圖如圖6。
- (2) 引擎暖機達正常工作溫度後，設定引擎轉數為1000 rpm、1600 rpm、1800 rpm、2000 rpm，以25N、35N、40N、45N、50N、55N、60N、65N負荷為變數進行試驗。
- (3) 負載變化由動力計以定轉數變扭力運轉模式調變，以模擬田間作業型態。
- (4) 量測記錄引擎馬力輸出、耗油量、煙度、濕度、進氣溫度、排氣壓力、排氣溫度、大氣壓。
- (5) 每一試驗連續運轉六十分鐘，煙度每二分鐘連續取樣量測二次，依大氣壓及溫度作修正，其公式為：  
煙度(%污染度)=量測值-0.24(T<sub>atm</sub>-293K)+1.2(P<sub>atm</sub>-101.3kPa)  
式中T<sub>atm</sub>、P<sub>atm</sub>分別為大氣溫度與壓力，煙度取平均值。
- (6) 將排氣管更換為可拆式濾煙排氣管，重複步驟2、3、4、5。
- (7) 比較分析試驗結果。

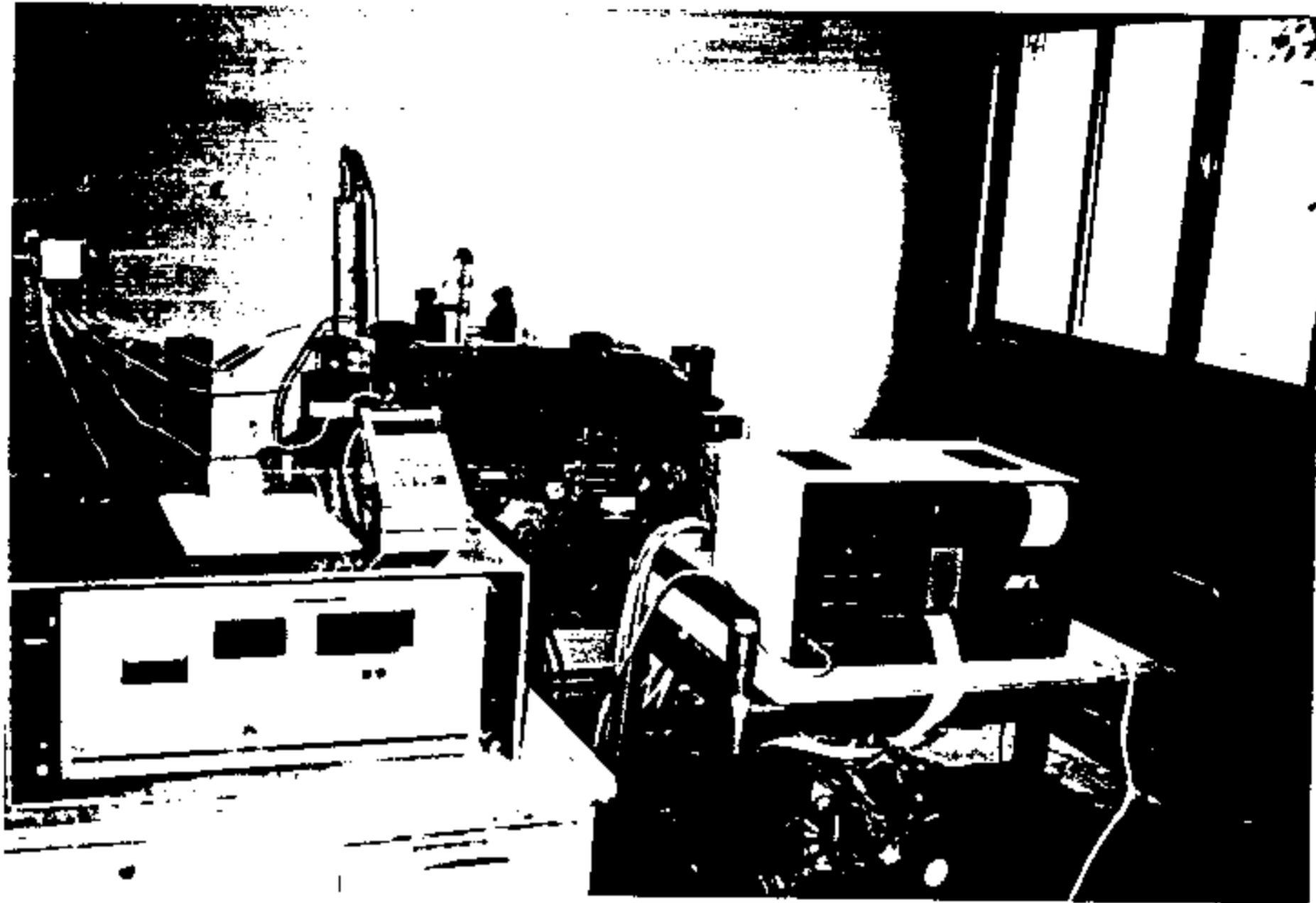


圖6. 實驗裝置實體圖

#### 四、田間試驗

田間試驗的目的在實際量測於田間作業條件下，濾煙器對改善於農機引擎排煙的效果。本試驗限於實驗設備，直接以農用曳引機進行田間試驗，實驗裝置實體圖如圖7所示。試驗方法為將迴轉犁附掛於農用曳引機，於田間進行整地作業，實際量測引擎排煙度。採用的曳引機廠牌為義大利製FIAT 85-90DT農用曳引機，配備四缸四行程水冷式渦輪增壓直接噴射式柴油引擎(已工作時數128小時)。

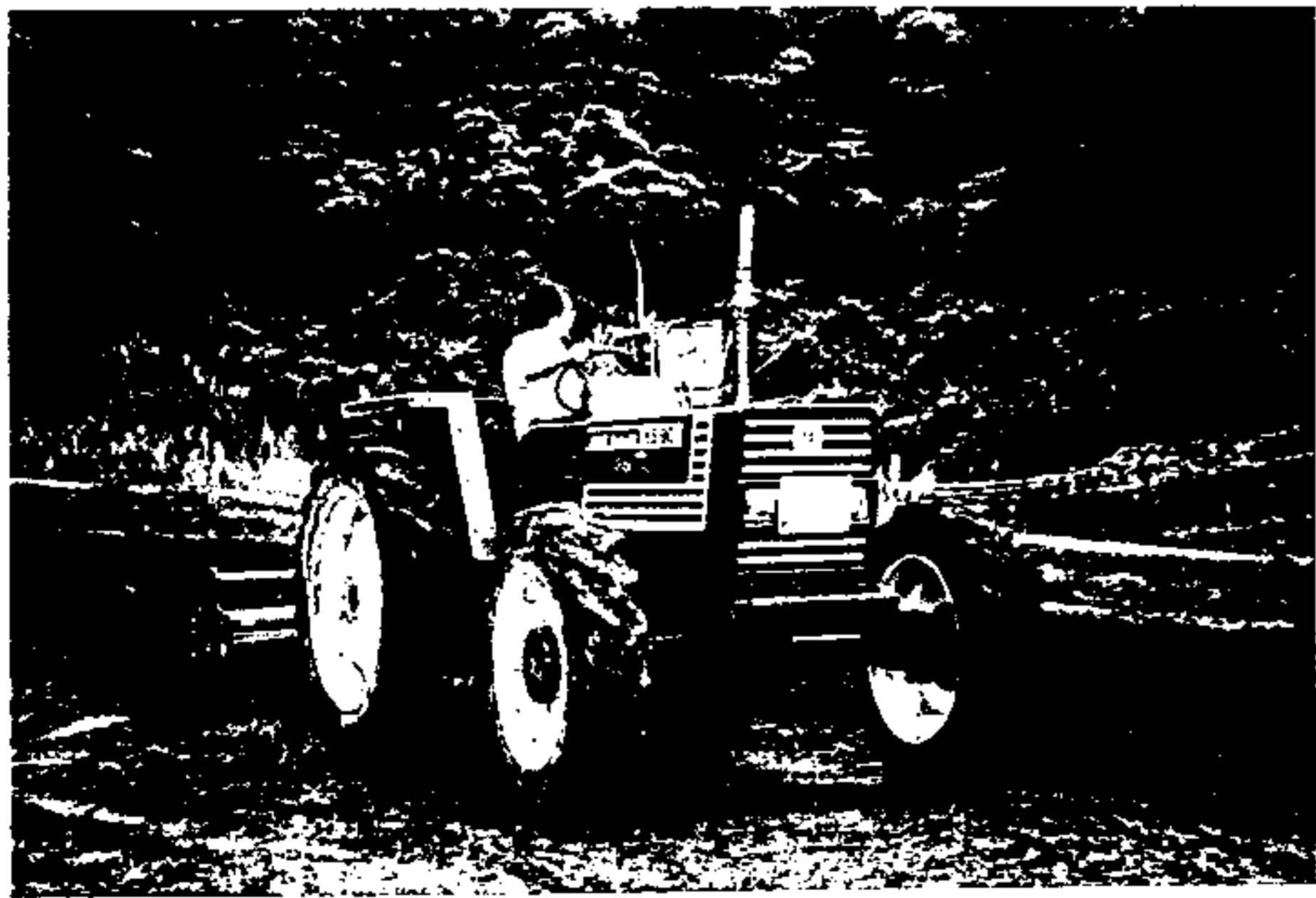
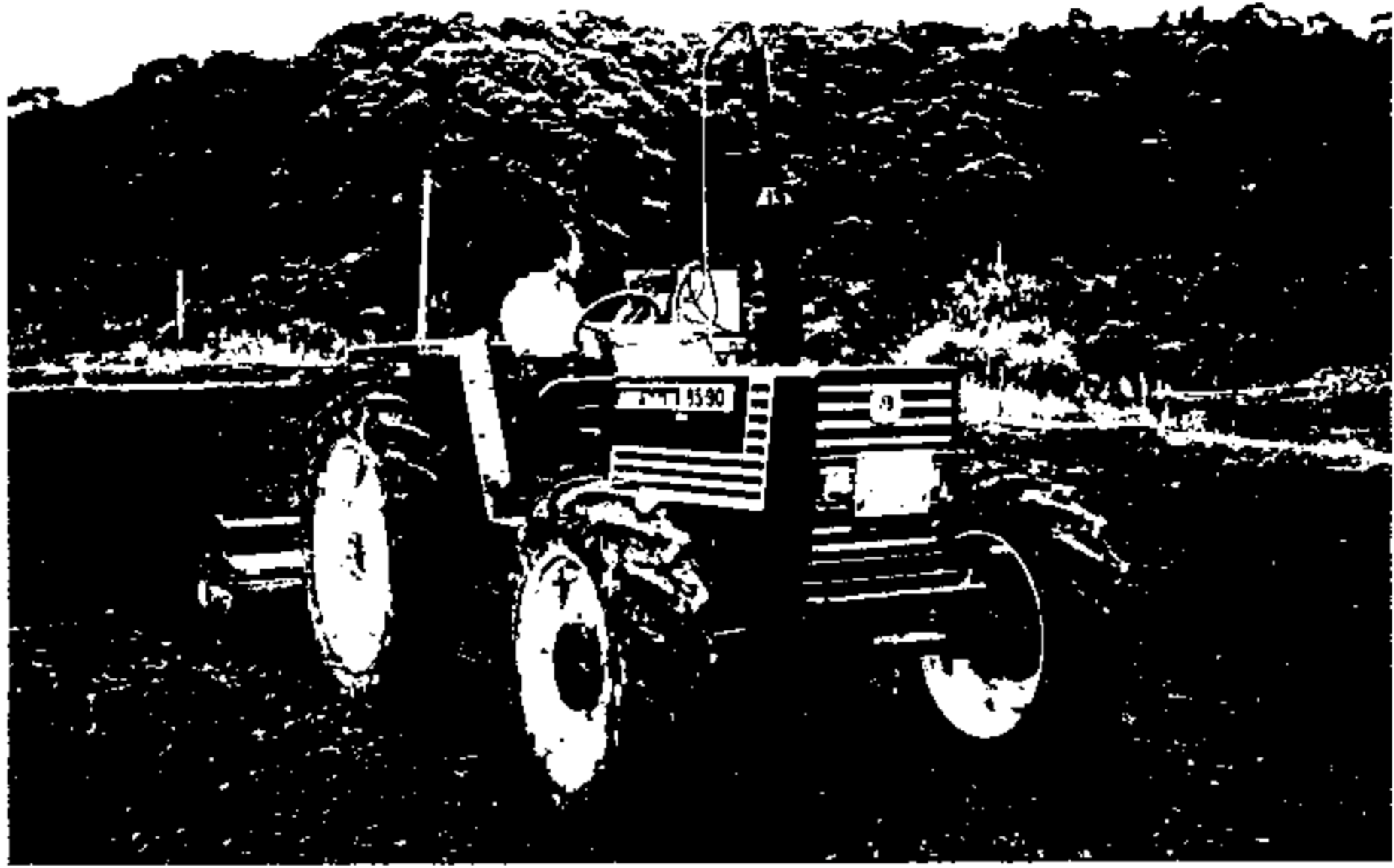


圖7 田間試驗裝置實體圖

## 1. 試驗引擎之主要規格

- ❖ 型號： 85-90 DT
- ❖ 汽缸直徑：104 mm
- ❖ 行程： 115 mm
- ❖ 排氣量： 3908 c.c.
- ❖ 最大馬力：80 PS/2500 r.p.m
- ❖ 燃料系統：CAV

## 2. 試驗步驟

- (1) 曳引機附掛迴轉犁，型式：Star 2008，耕寬2m。
- (2) 設定引擎轉數為廠家規定值2150 rpm。
- (3) 以曳引機自動位置控制及耕深調節輪設定犁耕深度：18cm。
- (4) 以不同前進速度進行整地作業，前進速度：2.8、3.4、km/小時。
- (5) 耕深與前進速度係依一般實地操作情況設定，設定耕深與前進速度後，引擎的負載變化決定於田間作業條件。
- (6) 試驗在同一田間區塊進行，田間作業循相同路徑，以減少田間作業條件誤差，煙度每分鐘取樣一次。
- (7) 量測記錄引擎耗油量、煙度、排氣溫度。
- (8) 將排氣管更換為濾煙排氣管，重複步驟2、3、4、5、6、7。
- (9) 比較分析試驗結果。

## 第五章 結果與討論

### 一、實驗室實驗

#### 1. 可拆式濾煙器之再生性與耐久性試驗

濾煙器能否再生，視排氣溫度能否達到煙粒燃點(Particulate Ignition Temperature)而定。判定再生溫度，可逐步增加引擎負載以提高引擎排氣溫度，同時觀察排氣背壓(或壓降)，當排氣背壓保持穩定值時的溫度為煙粒燃點，進一步提高排氣溫度，使排氣背壓減少的溫度即再生溫度(Regeneration Temperature)(Lawson et al, 1986, McCabe et al, 1987)。以1800 rpm 運轉，每一階段增加負載5N，持續運轉10分鐘使排氣溫度達到穩定值，當排氣溫度為520°C時，排氣壓降達到平衡值，進一步提高排氣溫度，則排氣背壓緩慢下降，但再生不完全。可拆式濾煙器再生溫度約為520~535°C，與Lawson之研究數據吻合。再生試驗之結果如圖8。

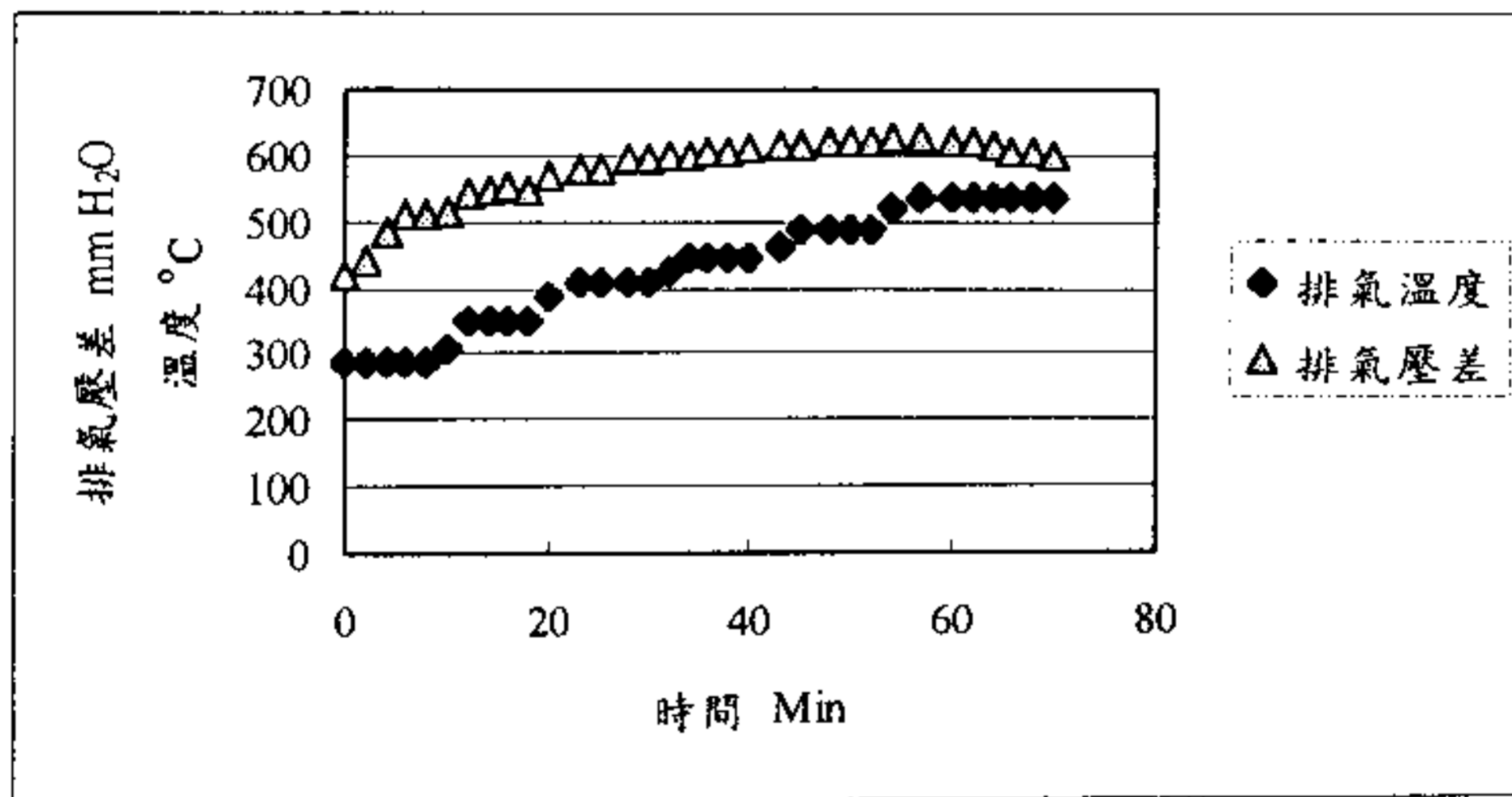


圖8. 再生溫度試驗結果

在引擎正常運轉狀態下，排氣溫度無法達到煙粒再生溫度，長時間運轉的結果，可能發生煙粒堵塞濾煙器，引擎性能劣化，甚至引擎熄火，或堆積的煙粒被排氣吹出(Blow-Off)，喪失濾煙功能。耐久測試逐步增加負

荷及轉速，每一階段運轉30分鐘，在所有的試驗中，排氣壓降皆呈上升趨勢，因此，應無Blow-Off現象。每一試驗階段的壓降平均值與引擎負載的關係如圖9所示，歷經12小時連續運轉為一循環，並無濾煙器堵塞的情形發生。

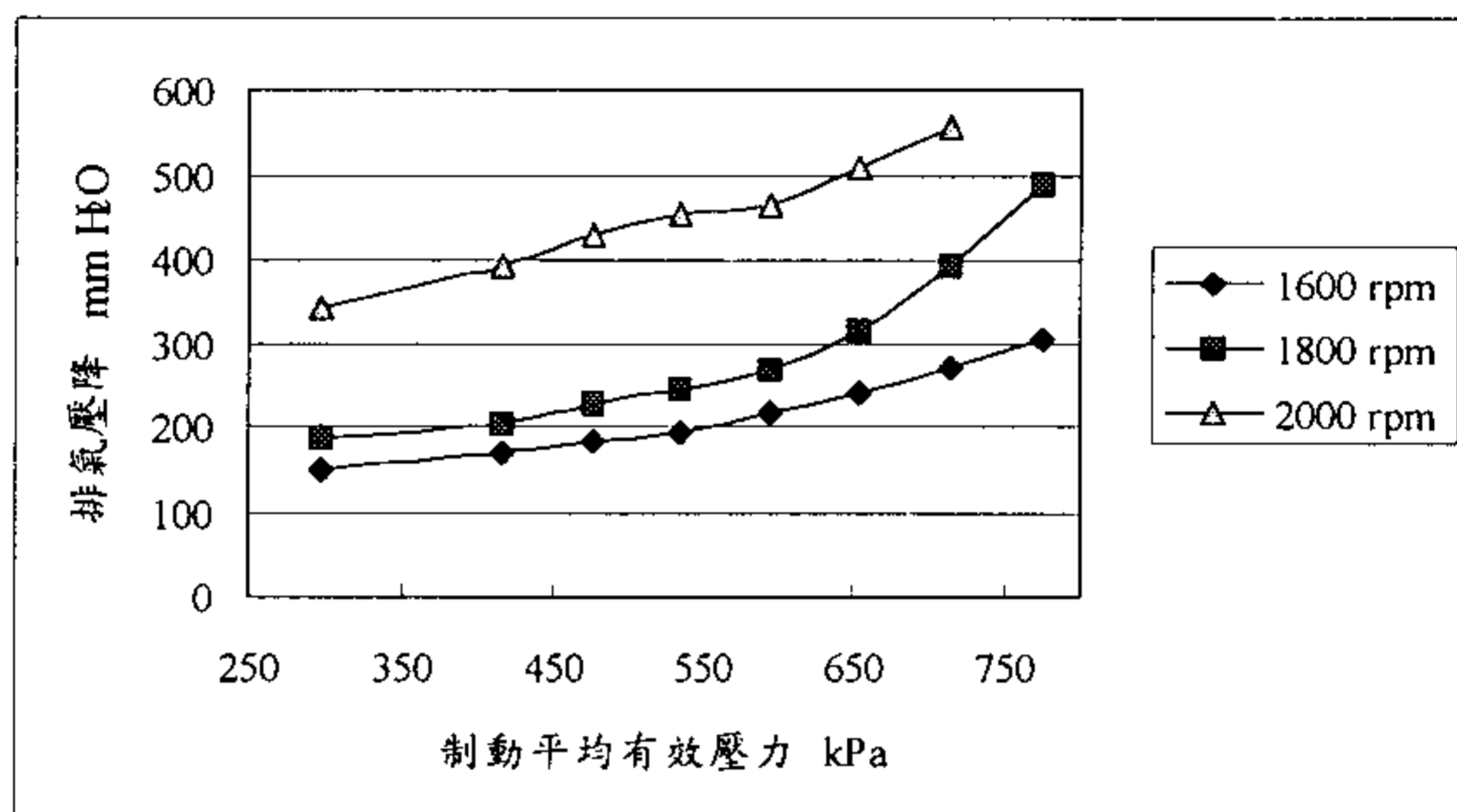


圖9. 引擎負載與排氣壓降之關係

## 2. 排煙度

濾煙效率定義為：在相同運轉條件下，排煙污染度降低值與無濾煙器污染度之比值，亦即效率 $\eta = \frac{\phi_c - \phi_l}{\phi_c}$ ，

$\phi_c$ ：傳統排氣管之排煙污染度。

$\phi_l$ ：濾煙排氣管之排煙污染度。

圖10. 為在1000 r.p.m.時，不同引擎負載之下，使用傳統排氣管與濾煙排氣管之排煙污染度值。由輕負載至重負載，排煙污染度由3%增至27%。約在五分之二負載以後，污染度值差異緩慢加大，在全負荷時，濾煙排氣管降低排煙的效率約22%。

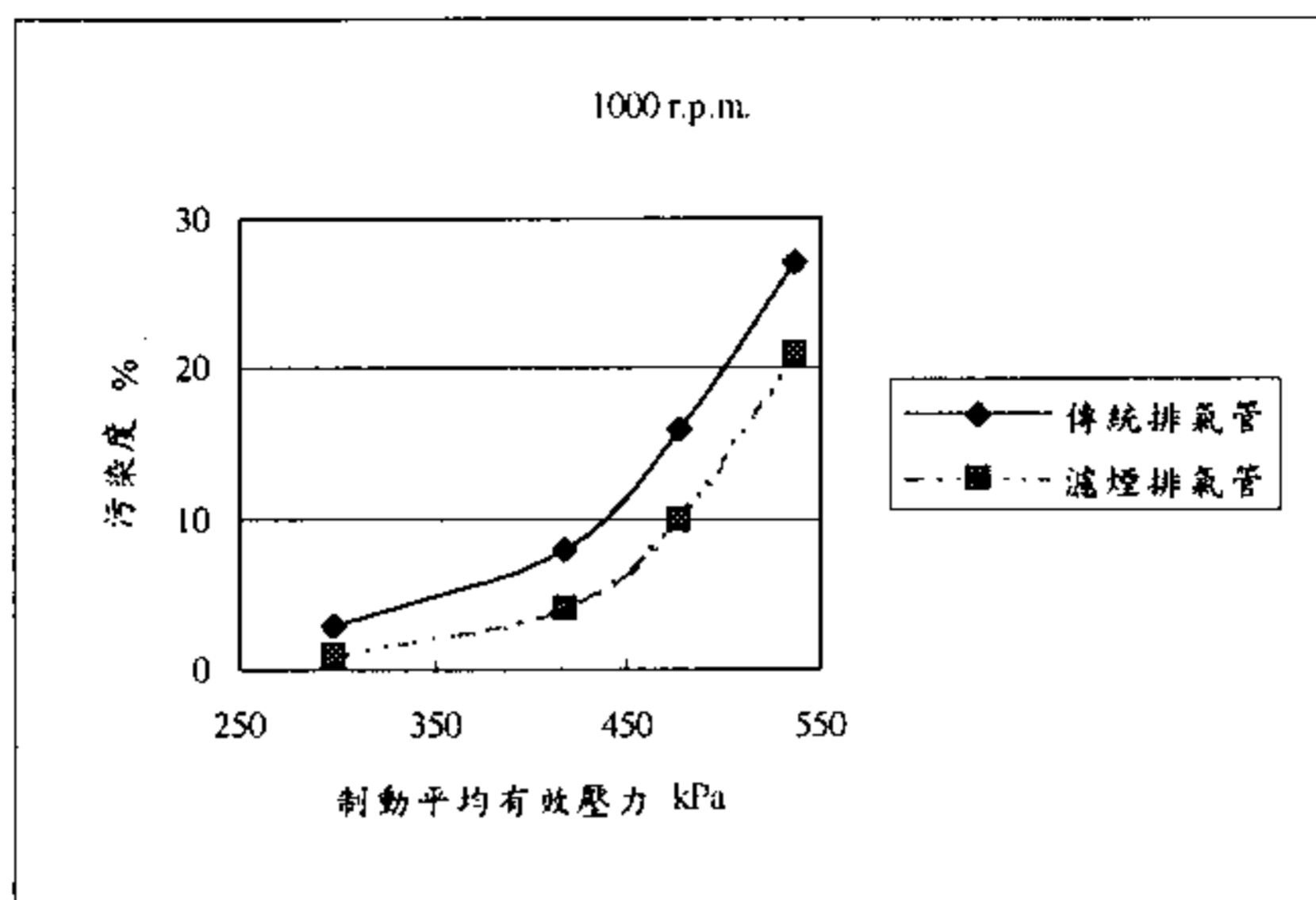


圖10. 1000 rpm 引擎負載與排煙污染度之關係

1600 r.p.m.時，不同引擎負載之下之排煙污染度值如圖11.所示。在五分之三負載以下，兩種排氣管之排煙污染度值僅有微小差異，在五分之三負載以上，濾煙排氣管與傳統排氣管之排煙污染度值差異隨負載增加而變大，在全負荷時，濾煙排氣管之排煙污染度值低7%污染度，降低排煙的效率約35%。不同引擎負載之下，1800、2000 rpm之排煙污染度值分別如圖12及圖13所示。

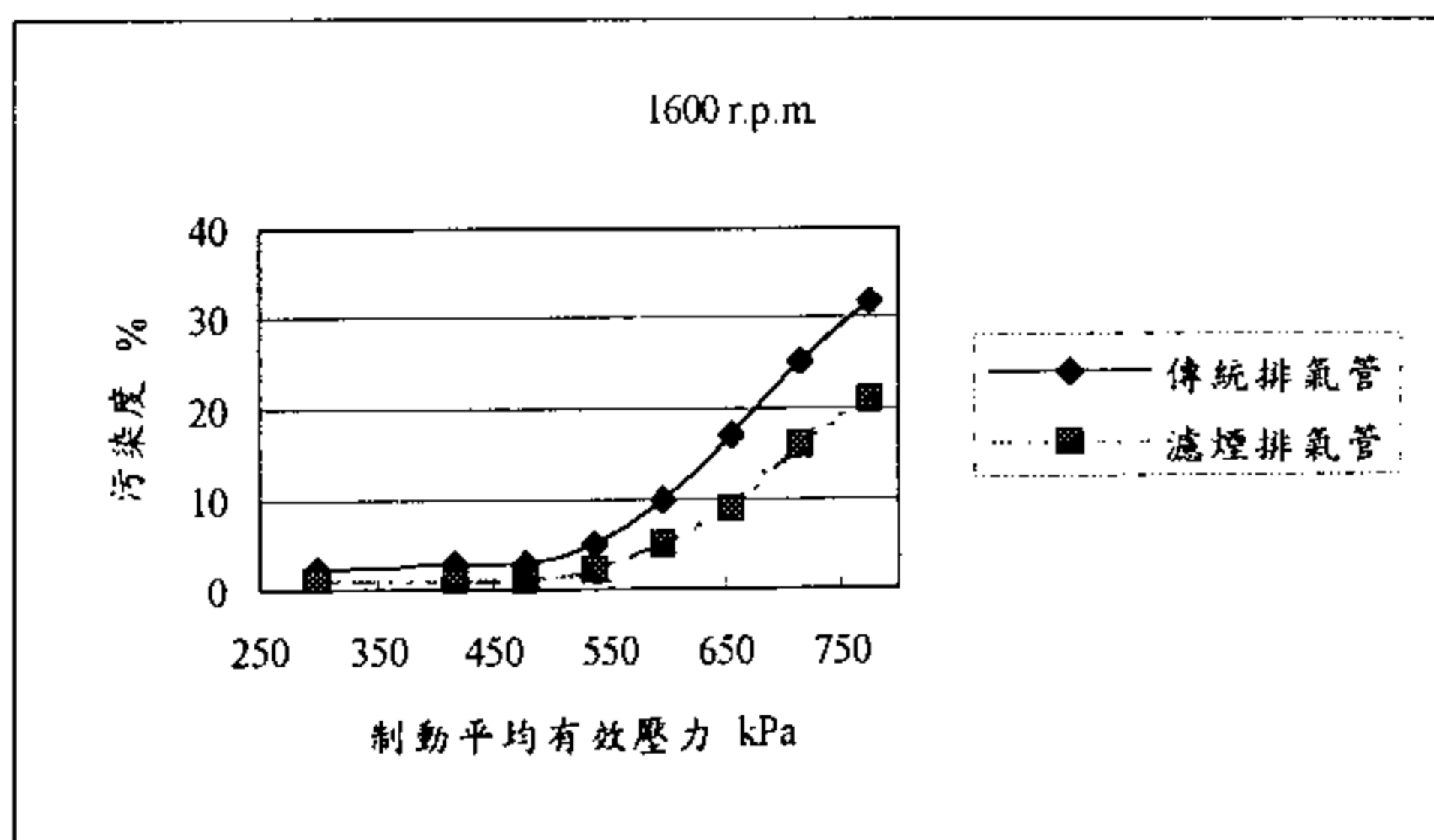


圖11. 1600 rpm 引擎負載與排煙污染度之關係

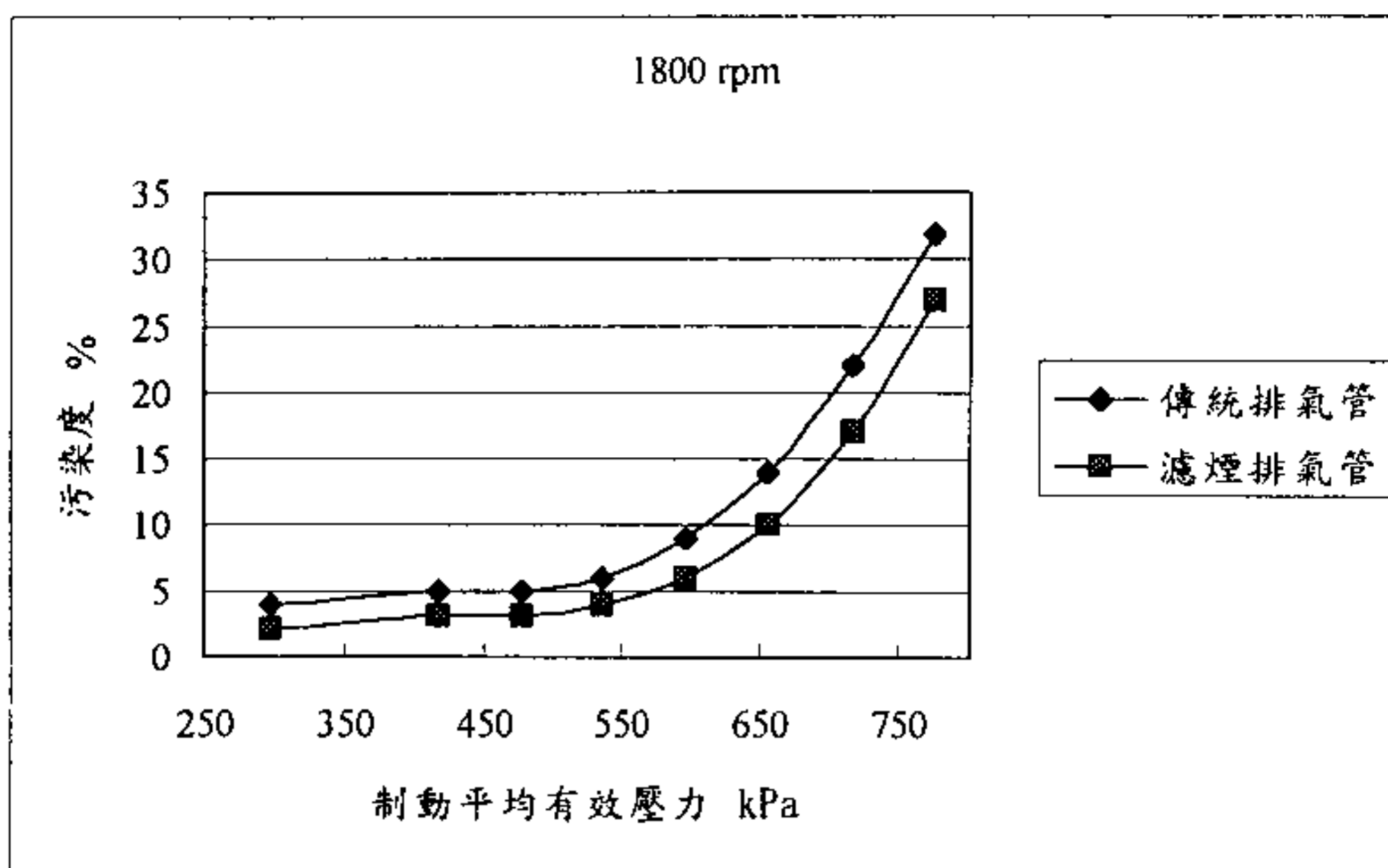


圖12. 1800 rpm 引擎負載與排煙污染度之關係

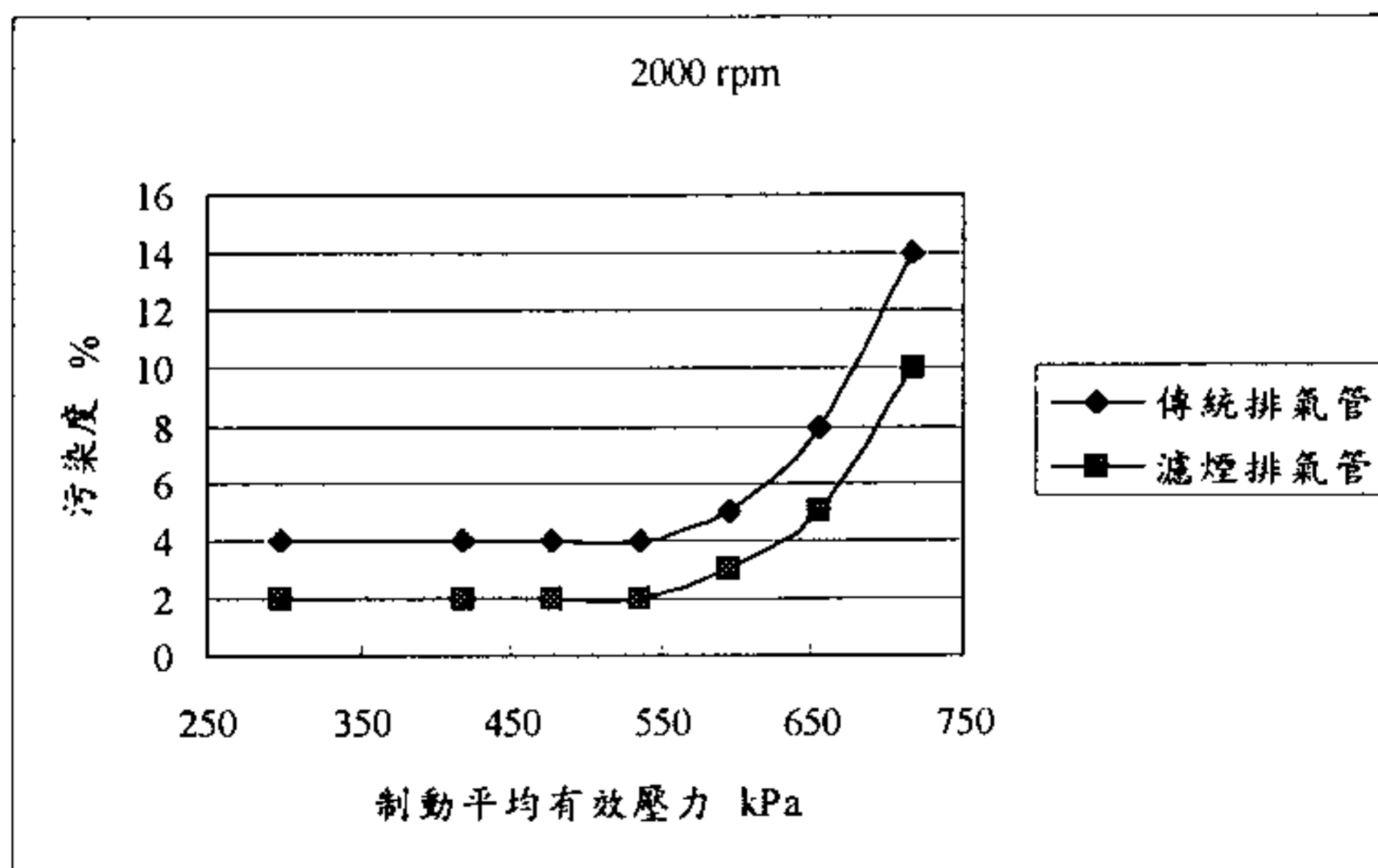


圖13. 2000 rpm 引擎負載與排煙污染度之關係

不同轉速之濾煙效率如圖14.所示。實驗結果顯示：負載愈大，濾煙的效果愈好，相對的，負載大時，引擎排煙濃度也較高，效率反而顯得較低

。另外，轉數較低時，濾煙效果較佳。此可能係濾煙器孔隙較大，高速高負載時，排氣流速較快的緣故。

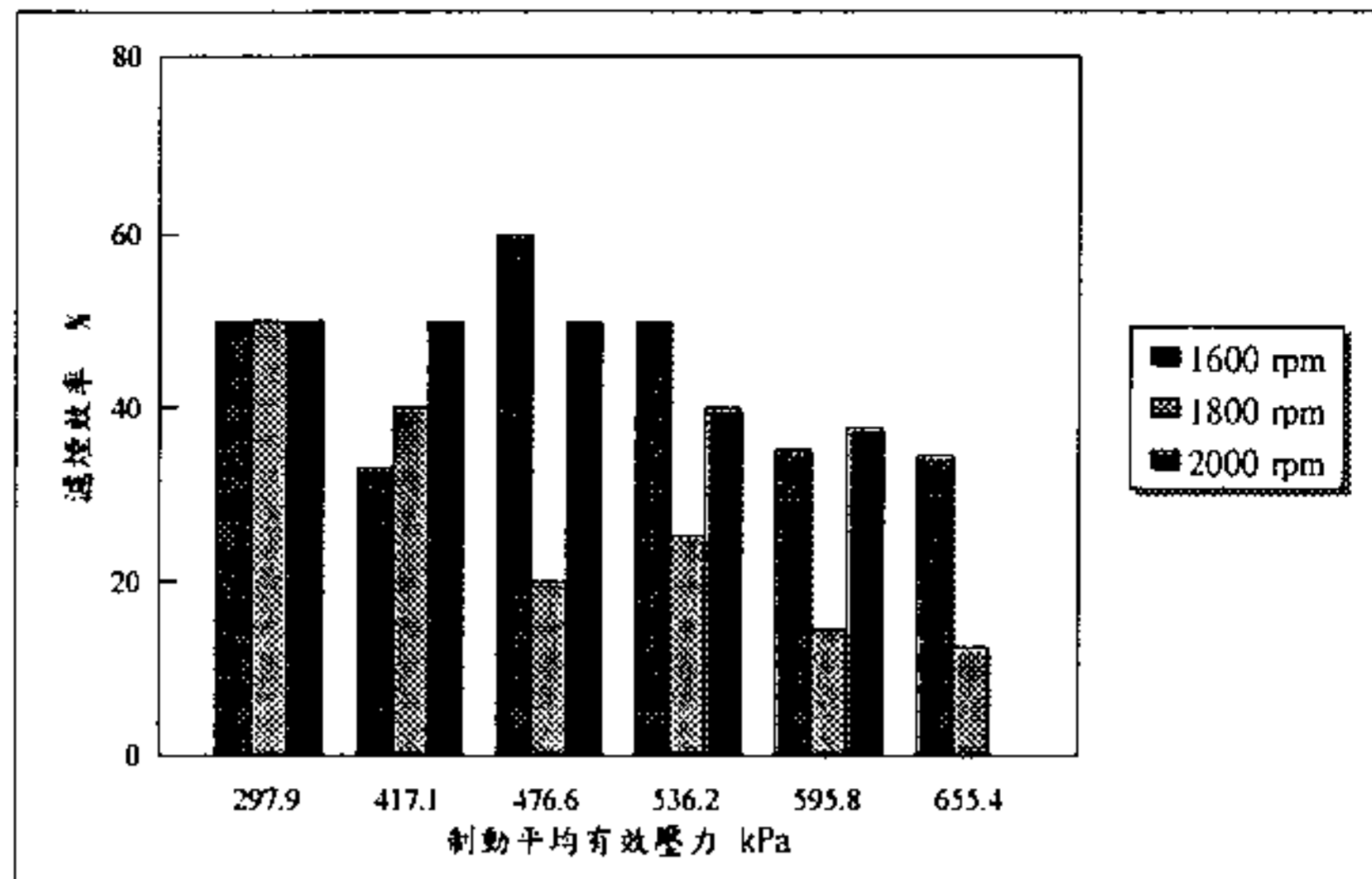


圖14. 不同負載與轉速之濾煙效率

### 3. 耗油率

圖15與圖16為在不同的轉速下，引擎負載與燃料消耗比量(bsfc)之關係。約在60%負載時，產生最經濟耗油率。使用濾煙排氣管時，耗油率略高，但其差異非常微小，僅約0.8%。

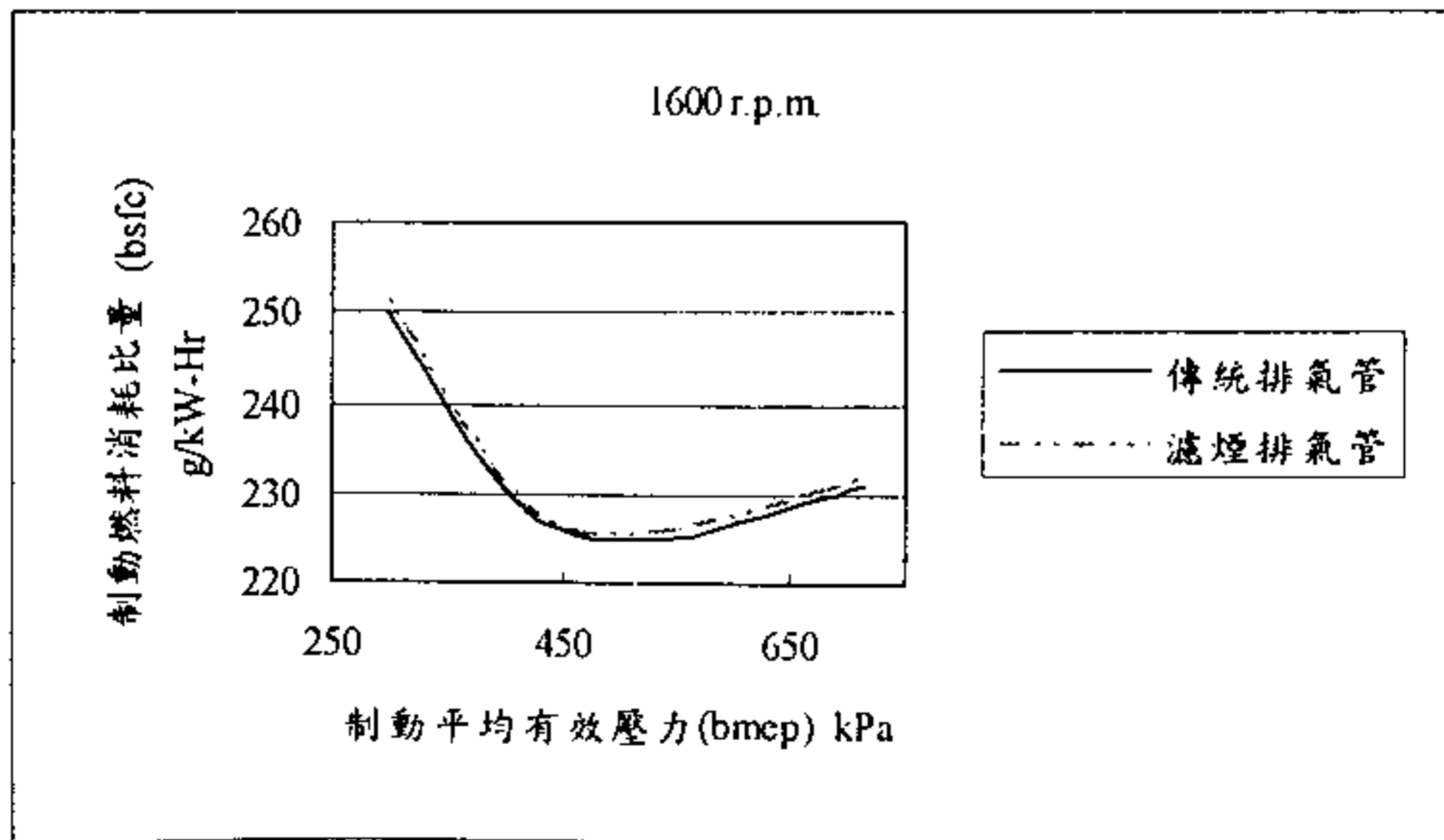


圖15. 1600 rpm 之燃料消耗比量

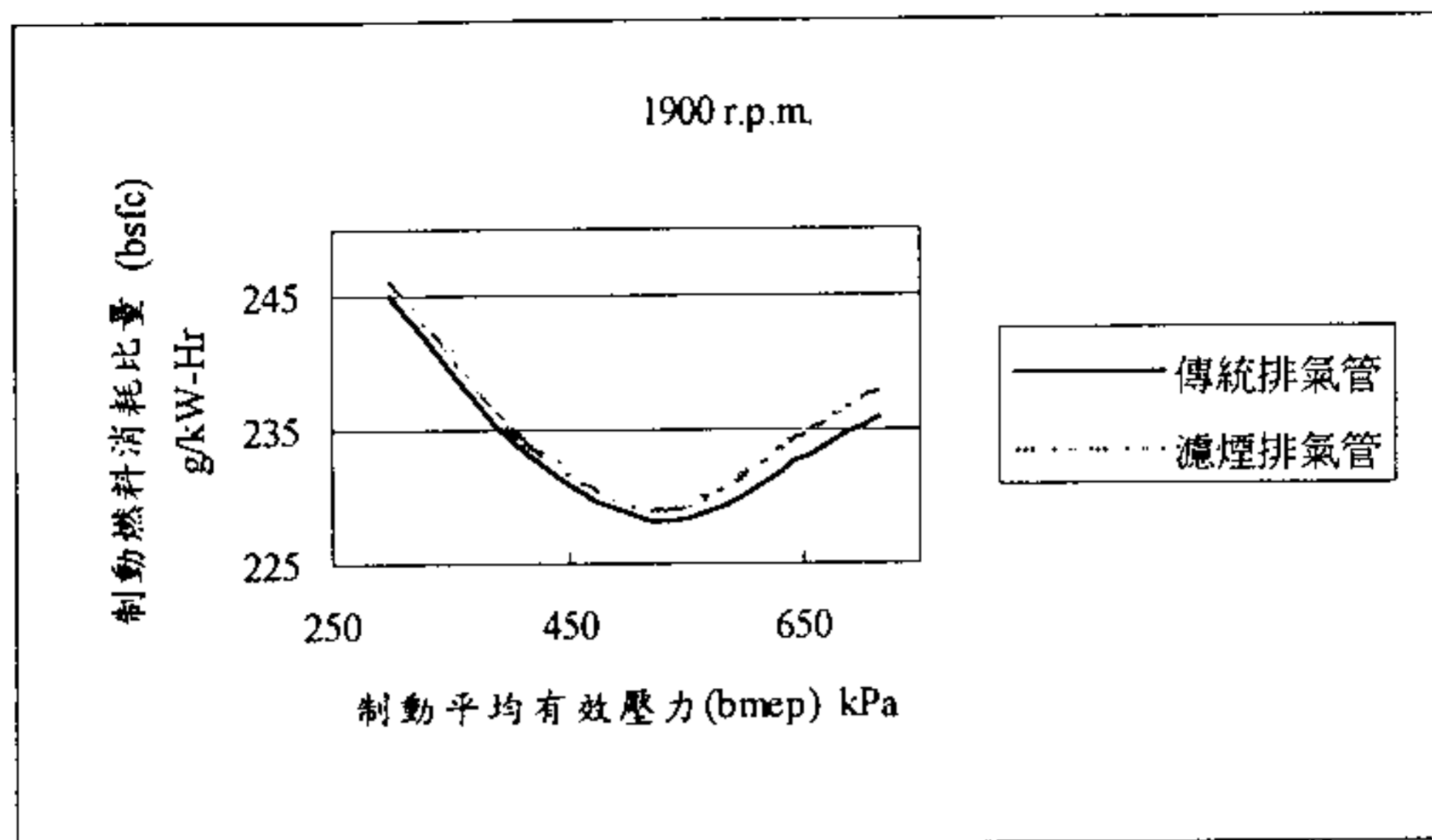


圖16. 1900 rpm 之燃料消耗比量

#### 4. 田間試驗

實驗室測試結果，濾煙器效果有待改進，在高速高負載未能發揮濾煙器應有的性能。根據實驗室試驗結果改良濾煙器，濾煙器以量產型式重新製造。將可拆式濾煙器裝於農用曳引機，以2.8及3.4公里/小時前進速度進行田間實際整地操作。

農機於田間作業，必須於頭地迴轉，此時，作業機暫停作業，引擎以廠家規定轉速高速空轉，頭地迴轉耗用的時間視田區區塊大小及採行的作業方式而定。本實驗犁耕作業之工作週期(Duty Cycle)為87.5%。

田間實地操作結果如圖17、圖18所示，濾煙效果良好，2.8公里/小時及3.4公里/小時前進速度之濾煙效率分別為47%、46.6%如表1。

表1. 田間試驗之濾煙器效率

	3.4 km/hr 前進速度 煙度平均值	2.8 km/hr 前進速度 煙度平均值
傳統排氣管	17	15
濾煙排氣管	9	8
濾煙效率	47%	46.6%

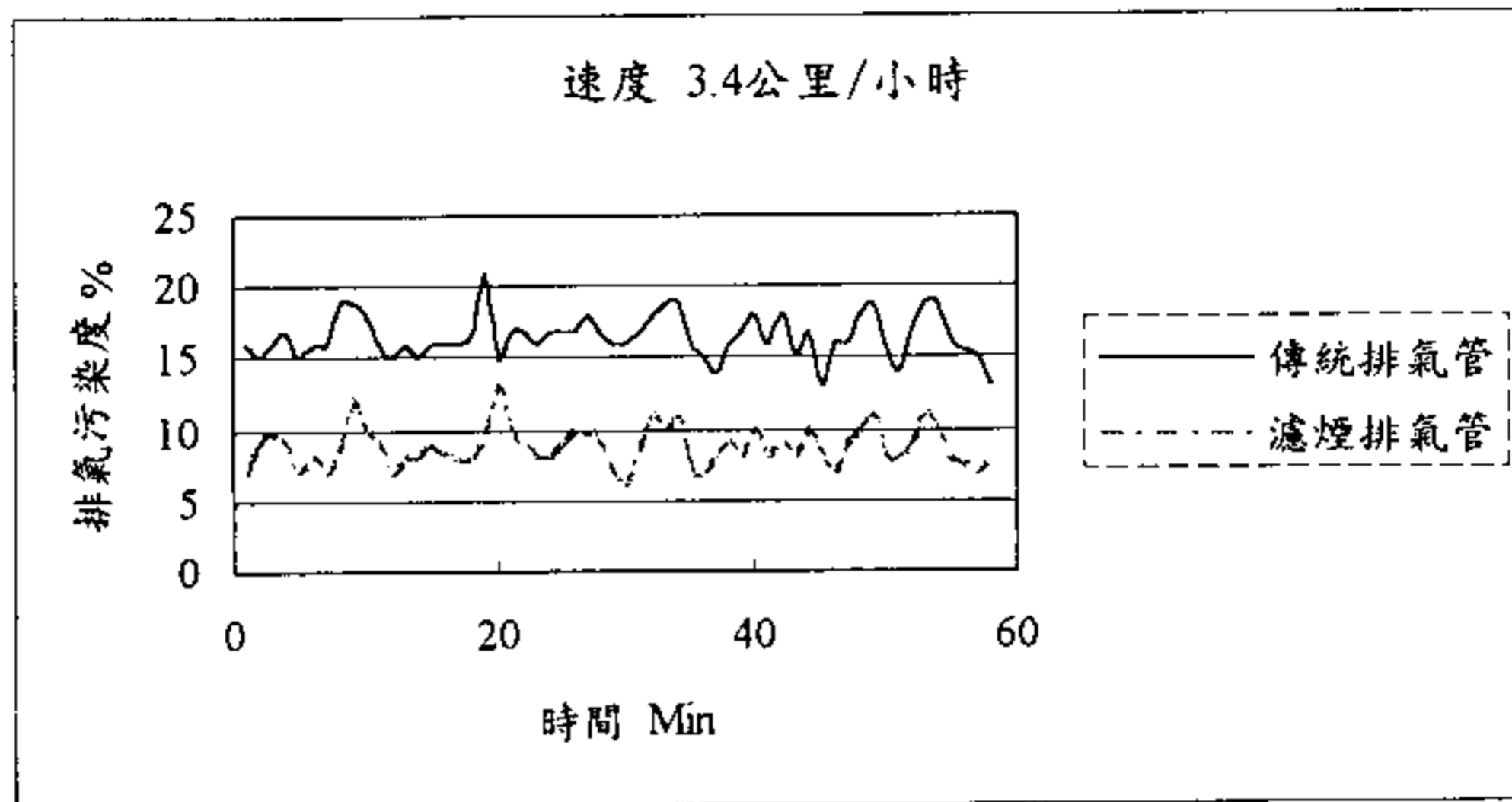


圖17. 3.4 km/hr前進速度之田間試驗結果

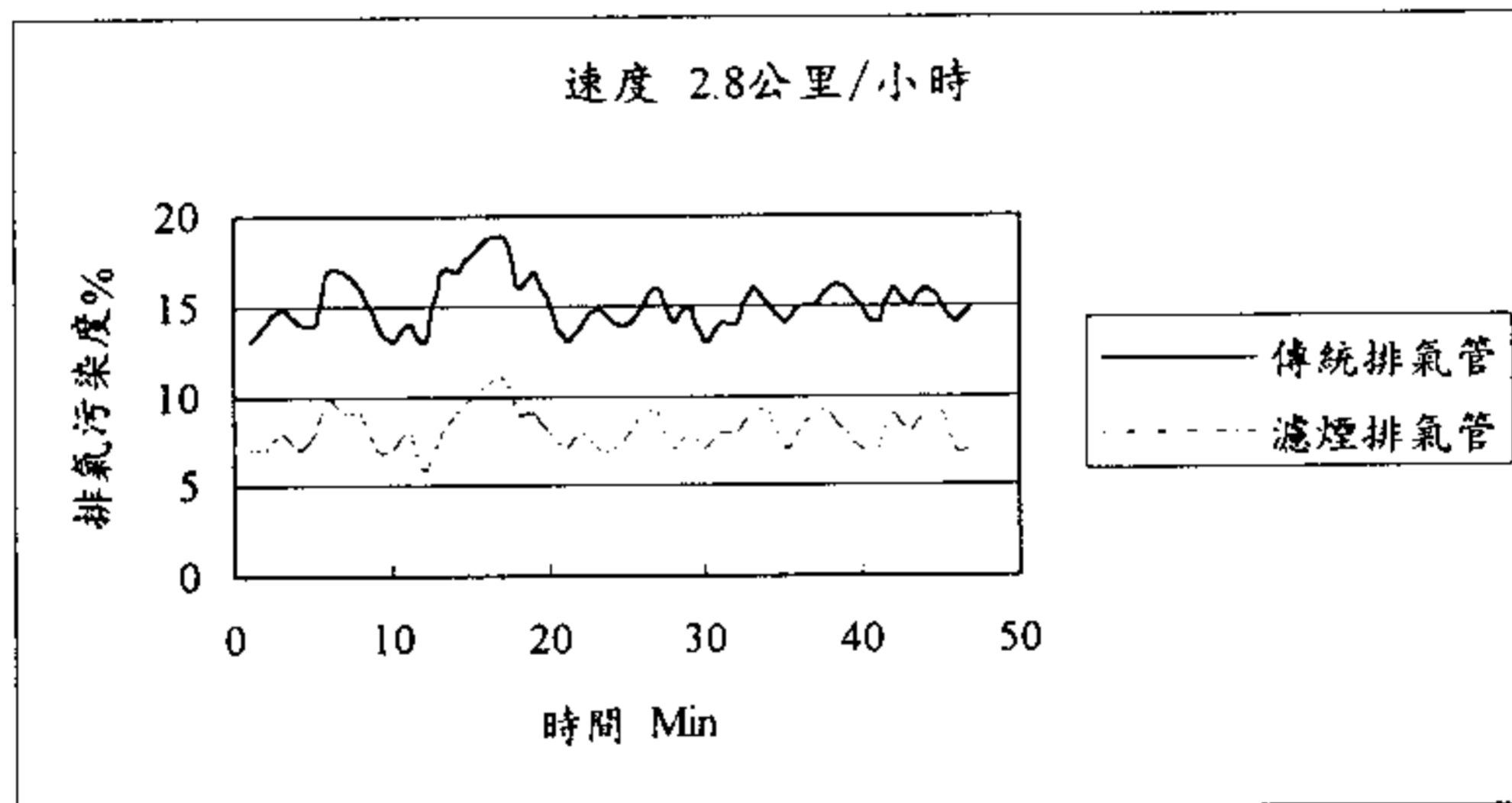


圖18. 2.8 km/hr前進速度之田間試驗結果

### 5. 濾煙器使用成本

農機使用年限視自用或代耕專業用而定，自用約十年，代耕用則約2000~3000工作小時數(或五年，視業務量而定)汰舊換新，一般農機使用成本分析皆以代耕用途為準，農用曳引機每工作小時(或每公頃工作面積)之

使用成本因廠牌、機型大小、年工作量而有相當差異。參酌陳等(1997)之資料，與本計畫使用之同廠牌、同等級曳引機，使用年限5年，每年工作時數500小時，則曳引機使用成本為每工作小時1541.6元，使用成本包含下列各項：

- 1.折舊成本：627.99 (元/小時)
- 2.利息成本：122.65 (元/小時)
- 3.維修成本：159.98 (元/小時)
- 4.管理費用：57.00 (元/小時)
- 5.燃料成本：173.03 (元/小時)
- 6.潤滑油脂費：25.96 (元/小時)
- 7.人工費用：375 (元/小時)

本計畫使用之濾煙器外殼為不鏽鋼，內部濾蕊為金屬，因濾蕊擔體並非陶瓷，因此無高溫而導致龜裂或損壞之虞，其造價視尺寸大小及製造數量而有差異，約在5000~8000元，假設使用5年(2500小時)而無折舊殘值，平均燃料及維修成本增加2%，則裝配濾煙器所增加的使用成本為：

- 1.折舊成本： $8000/2500=3.2$  (元/小時)
- 2.利息成本： $\{(8000+0)/2\} \times 0.055/500=0.44$  (元/小時)
- 3.燃料與維修成本： $(159.98+173.03) \times 0.02=6.66$  (元/小時)

三者合計增加曳引機每工作小時的使用成本10.3元，約佔總使用成本的0.668%。

## 第六章 結論

柴油引擎排放的煙粒燃點溫度高達520°C。農用柴油引擎裝配可拆式濾煙器，在1800 rpm全負載下，排氣溫度為535°C，產生不完全再生。經由循環試驗，濾煙器無煙粒吹走(Blow-Off)或堵塞的情形發生。

濾煙能力隨引擎負載增加而提高，但高速高負載時之效率較低。

將可拆式濾煙器裝於農用曳引機，以2.8及3.4公里/小時前進速度進行田間實際整地操作，具有降低排煙效果，估算濾煙效率分別為47%、46.6%。

可拆式濾煙器結構簡單，價格較便宜，燃油經濟性亦佳，無濾煙器堵塞的問題，不須使用再生裝置，但濾煙效率較低。結構設計最佳化以提升效率及耐久性試驗有待進一步的研究。

## 參考文獻

1. 台灣農業年報，台灣省政府農林廳，1996。
2. 薛添居，排氣管內可拆換式消音及過濾器，中華民國專利公報 No:231028，1994。
3. 陳文彬、郭鳳瑞、黃膺任，曳引機專業化經營使用成本分析之研究，嘉義技術學院學報第54期，1997。
4. John B. Heywood, "Internal Combustion Engine Fundamentals", McGraw-Hill Book Co., 1989.
5. C. R. Ferguson., "Internal Combustion Engines; Applied Thermosciences", John Willy & Sons, 1986.
6. Mayer, W. J., D. C. Lechman, and D. L. Hildens., "The Contribution of Engine Oil to Diesel Exhaust Particulate Emissions", SAE Paper 800256, 1980.
7. SAE Publication SP-943, "Diesel Exhaust Aftertreatment", Society of Automotive Engineers, Inc., 1994.
8. SAE Publication SP-702, "Diesel Particulates: an update", Society of Automotive Engineers, Inc., 1987.
9. SAE Publication P-172, "Advances in Diesel Particulate Control", Society of Automotive Engineers, Inc., 1986.
10. Abthoff, J., Schuster, H., and Loose, G., "The Regenerable Trap Oxidizer--An Emission Control Technique for Diesel Engines." SAE paper 850015, 1985.
11. B. Engler, E. Koberstein, and H. Volker, "Catalytically Activated Diesel Particulate Traps -- New Development and Applications", SAE Paper 860007, 1986.
12. T. Mihara, S. Kuwano, T. Kuwada, M. Yonemura, M. Nakamoto, and M. Takigawa, "Diesel Particulate Trap of Corrugated Honeycomb Fabricated with Mullite Fiber Ceramics", SAE Paper 860010, 1986.
13. J. Widdershoven, F. Pischinger, G. Lepperhoff, K. Schick, J. Strutz, and S. Stahlhut., "Possibilities of Particle Reduction for Diesel Engines", SAE Paper 860013, 1986.
14. Y. Niura, K. Ohkubo, and K. Yagi, "Study on Catalytic Regeneration of Ceramic Diesel Particulate Filter", SAE Paper 860290, 1986.
15. K. N. Pattas, A. M. Stamatellos, P. S. Kikidis, J. K. Aidarinis, and Z. C. Samaras, "Forced Regeneration by Exhaust Gas Throttling of the Ceramic Diesel Particulate Trap", SAE Paper 860293, 1986.
16. Y. Kiyota, K. Tsuji, S. Kume, and O. Nakayama, "Development of Diesel trap Oxidizer System", SAE Paper 860294, 1986.
17. A. Lawson, H. C. Vergeer, A. Stawsky, J. H. Dabniel and E. Thimons, "Update on the Evaluation of Diesel Particulate Filters for Underground Mining", SAE Paper 860298, 1986.
18. R. W. McCabe, R. M. Sinkevitch, "Oxidation of Diesel Particulates by Catalyzed Wall-Flow Monolith Filter", SAE Paper 870009, 1987.
19. M. Arai, S. Miyashita, and K. Sato, "Development and Selection of Diesel Particulate Trap Regeneration System", SAE Paper 870012, 1987.
20. E. D. Dainty, A. Lawson, H. C. Verger, B. Manicom, T. P. Kreuzer, and B. H. Engler, "Diesel Emissions Reduction by Ceramic Filter Employing Catalytics or a Fuel Additive", SAE Paper 870014, 1987.
21. H. O. Hardenberg, H. L. Daudel and H. J. Erdmannsdorfer, "Experiences in the Development Ceramic Fiber Coil Particulate Traps", SAE Paper 870015, 1987.
22. K. N. Pattas, Z. C. Samaras, and P. S. Kikidis, "Operation Characteristics of the Ceramic Diesel Particulate Trap", SAE Paper 870252, 1987.

23. K. N. Pattas, Z. C. Samaras, A. M. Stamatellos, and P. S. Kikidis, " Size Determination of the Ceramic Diesel Particulate Trap ", SAE Paper 870253, 1987.
24. D. T. Daly, D. L. McKinnon, J. R. Martin and D. A. Pavlich, " A Diesel Particulate Regeneration System Using a Copper Fuel Additive ", SAE Paper 930131, 1993.
25. A. Mayer, A. Buck, and H. Bressler, " The Knitted Particulate Trap: Field Experience and Development Progress ", SAE Paper 930362, 1993.
26. K. Kobashi, K. Hayashi, H. Aoki, K. Kurazono, and M. Fujimoto, " Regeneration Capability of Diesel Particulate Filter System Using Electric Heater ", SAE Paper 930365, 1993.
27. W. A. Majewski and E. P. Martin, " Diesel Particulate Filter with a Disposable Pleated media Paper Element ", SAE Paper 930370, 1993.
28. Bosch Technical Instruction., "Diesel Fuel-Injection Equipment: Governors for in-Line Pumps", Robert Bosch GmbH, 1985.

## 附 錄

### 敬覆審查意見

#### 一、期中報告審查意見

1. 增加國內外相關文獻資料整理與分析。

答：文獻資料整理已重新改寫。收集文獻著重濾煙器之功能特性及測試分析。

2. 加強採樣與檢驗分析之QC與QA。

答：實驗裝置與取樣方法已於4.2節煙度量測與取樣方法中說明，後續實驗已就振動問題加以改善，力求降低實驗誤差。

3. 強調清潔技術理念(低污染、省能源)並進行成本效應分析。

答：於5.5節中估算濾煙器的使用成本。

4. 濾煙器為本計畫的關鍵零件，應就濾煙器之型式、構造、功能、價格及工作環境下之效應與安全加以說明等加以說明，以利使用者選擇該項產品之參考。

答：於4.4及5.5節中節中加以說明。

5. 報告中僅以檯假測試方式來檢測排污效果，請考慮加入以實地操作方式來檢測成效。

答：已進行實地田間試驗。

#### 二、期末報告審查意見

1. 對於濾煙器之內部尺寸及形狀，值得深入研究，以找出最佳化設計，並提升效率。

答：濾煙器之內部尺寸及形狀應與引擎適當搭配，諸如孔隙率、氣流速度等皆會影響濾煙器之效率，希望將來能有機會繼續研究。

2. 本研究對於污染定義未確定，柴油車排放污染物有粒狀物和氣體如CO、HC、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>等，所見黑煙以粒狀物或SOOT為主。所裝設濾煙器並無法消滅CO、HC、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>等污染物，僅能消滅部份粒狀物，此法值得商榷？氣態污染物均未測量。

答：柴油引擎排放之污染物於第一頁前言中述及。柴油引擎排放之污染物以NO<sub>x</sub>及粒狀物(PM)較為嚴重，也較不易解決。由引擎之設計著手，改善了NO<sub>x</sub>，則增加了PM排量，兩者互為增減關係，濾煙器為排氣後處理裝置，其使用主要為使PM排量符合美國1994或我國三期之環保規範。汽油引擎所使用之三元觸媒轉化器並不適合柴油引擎使用，因柴油引擎為稀薄燃燒，三元觸媒轉化器無法降低NO<sub>x</sub>排量，柴油引擎觸媒轉化器在本研究過程亦曾加以測試，對降低排煙並無幫助，僅能轉化CO、HC。濾煙器若塗佈觸媒，可能可以轉化氣態污染物，但也可能產生其它的污染物(如銅化合物)。本計畫所使用之濾煙器未塗佈觸媒，僅在降低排煙，對氣態污染物應無影響，設備上也有所不足，因此，未量測氣態污染物。

3. 濾煙器是否能再生，如何再生？如不能自動再生，請農夫自己再生，可能對農夫有更大污染。另外，此濾煙器造價、持久性，不能再生可使用多久？再生可使用多久？每行100公里花費多少錢，應予評估才能建議推廣。

答：基本上，濾煙器若未搭配再生系統(如電熱加熱、燃燒器或液態觸媒)以進行強制再生，則能否再生視引擎運轉狀態而定。本計畫使用之濾煙器外殼為不鏽鋼，內部濾蕊為金屬，為自我再生濾煙器，當排氣壓降達650 mm H<sub>2</sub>O，即自行再生，因濾蕊擔體並非陶瓷，因此無高溫而

導致龜裂或損壞之虞。限於時間，本計畫無法就濾煙器之使用壽命進行試驗，濾煙器的使用成本於5.5節中估算，僅供參考。