

燃燒

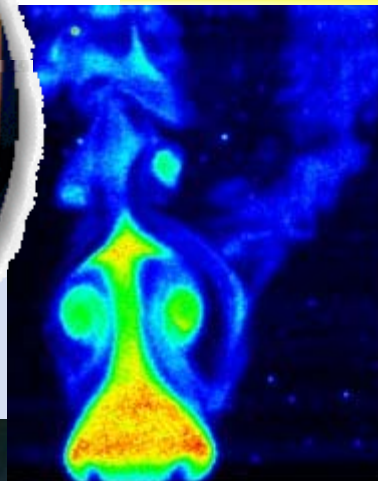
Combustion Quarterly



中華民國燃燒學會
The Combustion Institute of R.O.C

季刊

57



中華民國九十六年五月

Vol. 16 No. 2

燃 燒 季 刊

Combustion Quarterly

第十六卷 第二期
Vol. 16 No. 2

中華民國九十六年五月出版
May 2007

目 錄 CONTENTS

編輯札記 1

廢潤滑油劣化成因及處理技術 2 林成原 謝孟穎

機車排氣污染法規與因應對策 8 廖俊性 吳浴沂

生質柴油最佳化綠色設計 15 吳贊鐸 吳安德 吳澤松 吳庭年

丙烷燃震反應特性之數值研究 32
李進興 劉軒誠 陳維新 陳信伯 翁凌家

小型引擎之可變進氣系統 41 葉啟南 黃志偉 張惠廷

燃燒技術研發及燃燒產業發展策略座談會 46 能源局

編輯札記

「燃燒季刊」作為學術界與產業界的資訊交換平臺，每期刊登的文章都力求能兼顧學術理論及實務技術的價值及內涵，長期以來已建立有別於一般學術性期刊的發展特色，這些文章也一直為各界所參考及引用。由於尋找替代性能源及使用石化燃料降低對於環境生態的危害等二項議題正是全球正熱烈討論及研究的重要課題，本期的文章內容正反映這種發展趨勢，包括「小型引擎之可變進氣系統」文章探討改善引擎進氣效率之技術，以提昇性能，同時降低油耗與污染；「機車排氣污染法規與因應對策」文章則討論使用機車污染管制法規及控制技術以減少於臺灣為數達一千三百餘萬餘機車的排氣污染；「生質柴油最佳化設計」文章則研究生質柴油最佳化組合之研發設計，以將「生命週期思維」觀念納入設計考慮，達到有效減少污染之目標；「廢潤滑油劣化成因及處理技術」文章則探討妥善處理廢潤滑油，以將廢棄物轉化為可利用之寶貴資源；「丙烷燃震反應特性之數值研究」則以數值模擬方法探討脈衝燃震引擎內丙烷之反應特性，對於爆震引擎的設計提供一個很好的參考方向。

再度感謝國內外燃燒及能源等領域專家學者對「燃燒季刊」的支持，期待各位先進踴躍投稿，協助推動燃燒科技的發展。

林成原

廢潤滑油劣化成因及處理技術

Deteriorating Causes and Recycling Treatment for Lubricating oil

林成原¹ 謝孟穎²

Cherng-Yuan Lin Meng-Ying Hsieh

國立臺灣海洋大學輪機工程學系

Department of Marine Engineering, National Taiwan Ocean University

摘要

潤滑油廣泛使用於運轉機件，以減少因相對運動所造成表面的磨耗，而延長機件的使用壽命，在使用一段時間之後，潤滑油的功能會因溫度及壓力的作用、雜物混入、稀釋…等原因而劣化，因此需予更換，換下來之廢潤滑油仍甚具經濟價值，可經由適當的回收處理程序產生不同種類的油品而再利用。目前廢潤滑油的回收處理技術已經相當成熟，業者可依據實際需求採用超細過濾法、薄膜氫化法…等適當技術得到最佳之經濟效益。

Abstract

Lubricating oils are widely used in moving parts of mechanical equipments in order to reduce friction force between moving surfaces. The life of mechanical parts can therefore be elongated. After a period of being used, the function of lubricating oil is deteriorated with time primarily due to the effects of working temperature and pressure, blending of impurities, dilution with other petrochemical products, etc. Lubricating oil should then be replaced with new one. The used lubricating oil still bears high economic value and can be treated to produce various kinds of petrochemical oils. Mature treatment technologies for used lubricating oil have been developed. Engineers can adopt suitable treatment procedures based on their practical requirements to achieve the best economic benefit.

一、前言

國內廢潤滑油之二大主要來源為工業廢油及汽機車廢油，據推估臺灣地區每年使用在工廠的作業機器以及汽、機車的潤滑油每年約達 20 億公升以上，其中多數為汽機車定期更新的機油，而每年所產生的廢潤滑油高達約 5 億公升以上，數量相當可觀[1, 2]。

加拿大再精煉製業同業公會所發表的清單中，所有的內燃機中使用過的潤滑油，除船用油泥不予再精煉外，其餘均可再精煉成潤滑油[3]。由於廢潤滑油含多種有害物質成份，且不易清除，為避免廢潤滑油被隨意棄置而造成生態環境破壞，行政院環保署自民國 87 年起，將廢潤滑油列為應回收物品，不再視為一般事業廢棄物。

雖然政府大力推廣廢潤滑油回收制度，但因國人環保意識不足、保修廠及廢潤滑油業者配合度低、回收再利用價值高…等因素，自民國 87 年推行以來，廢潤滑油回收率及回收成果不甚理想。根據環保署「廢物品及容器稽核認證回收量統計表」的資料顯示，以民國 88 年回收量最高，回收量達 1 萬 3 千公秉[4]，但也僅佔全部廢潤滑油量的 15% 左右，其他近 85 % 的廢潤滑油並未確實被回收，去向不明。

潤滑油在使用一段時間經過壓力及溫度作用與混摻入金屬等雜質之後，造成潤

¹ 國立臺灣海洋大學輪機工程學系教授；email: Lin7108@mail.ntou.edu.tw

² 台積電化學機械研磨部設備工程師

滑性質劣變，必需予以更換新的潤滑油，以避免機件因缺乏適度潤滑而加速磨耗，惟廢潤滑油仍甚具經濟價值，若能將其回收並經過適當的處理步驟之後，可作為汽柴油或基礎油，不僅可減少因隨意棄置而對環境的危害，同時創造利潤，達到環保及經濟雙贏的目標。

二、潤滑油劑的種類

潤滑劑是用來降低兩物體因相對運動所產生表面摩擦力的輔助劑，由石油提煉過程中經加工而成者，通稱為石油潤滑劑，大致分為下面幾類[5]：

(一)潤滑脂：潤滑脂在常溫下呈半固體或固體狀，色澤以黃色居多，俗稱黃油。以潤滑油添加金屬皂製造而成，約由 65~90%潤滑油，10~35%金屬皂，加上少量添加劑所組成。因金屬皂具有硬化潤滑油的特性，經長時間重力加壓後潤滑劑的性質變軟，靜置一段時間後又再變硬，因此常應用在軸承類之潤滑。

(二)潤滑油：俗稱機油，為一種由原油直接煉製而成的礦物性油料，使用普遍、應用範圍廣泛，在機件潤滑的應用方面佔有相當重要的地位。依其原油基可分成石蠟基、環烷基及混合基三種。其中石蠟基含最多石蠟成分，環烷基含較多柏油成分，混合基則是介於兩者之間。

(三)複合潤滑劑：為機油與動植物油摻配化合而成的複合性油料。使用複合潤滑劑的目的，在於改良單獨使用機油或動植物油所無法達到的性能。動植物油因含有脂肪酸，脂肪酸中的游離脂肪酸常以共存的型式存在，對金屬表面附著力強，可彌補機油附著度的不足，並增加耐水沖刷性。其缺點是在高溫下游離脂肪酸對金屬腐蝕能力強，長期使用下會造成此種潤滑劑的黏度增加。

(四)合成潤滑劑：其外觀與機油相似，但因經多步驟化學處理過程並與添加物混合，其性質與機油相差甚遠。內含多種活性物質，能與材料表面產生化學作用，在摩擦面間形成一層極薄的油膜，能有效降低機件運轉所產生的摩擦。

市面上車用機油通常屬於合成潤滑劑，但因廠牌甚多，添加劑及成份也不大相同，另外市面上販售的潤滑油品質參差不齊，亦有不少可能是複合式潤滑劑，須另測試油料中是否含游離脂肪酸才能判別。

三、潤滑油劣化的成因

由於潤滑油經長期使用後，可能因其他物質混入、本身因承受壓力或高溫而變質、蒸發消耗等，再加上使用潤滑油時，受到物理與化學作用的過程繁雜且反應劇烈，造成潤滑油品劣化而不堪使用。造成劣化的可能原因相當多，可概略分成下列幾種[6]：

(一)添加劑劣化：多數添加於潤滑油的各種添加劑，隨著使用時間的增加，原本的功能失效，對潤滑油品本身產生不良副作用。例如多數之清淨擴散劑，除具備有效清淨及擴散作用外，往往會降低油料原有之抗氧化性，必須選用有效之抗氧化添加劑克服，故潤滑油之各種添加劑，最後必須能相互配合及平衡功能 [7]。

(二)碳化：潤滑油在燃燒室因受熱分解而氣化的油氣，一旦與氧氣結合後，如果熱量的傳導速度較氧氣結合速度快，此時潤滑油會因熱乾餾而產生大量的碳化。另外，在運轉機件的高溫區附近或引擎汽缸內，也容易產生碳化現象。潤滑油的氣化速度會影響其碳化的發展，黏稠度高的潤滑油由於氣化速度較受熱速度慢，故容易殘留碳化物。此外，使用過後的廢潤滑油因黏度大幅上升，亦容易有較高的殘碳

量。

(三) 油品乳化：潤滑油在使用過程中，因接觸過多水分，在油中具有凝聚力的微細淤渣粒子的極性作用下，使得油水間的界面張力降低，產生乳化現象生成 W/O 型(油包水型)乳化液[8]。油水在形成強固的乳化膜後，會加速油品劣化程度，一般促使潤滑油乳化的因素包括：潤滑油品已相當程度氧化、接觸過多水分、因劣化增加淤渣生成量造成黏度變高、機組老舊導致碳氫化合物的成份變質等。

(四) 雜物混入：由於引擎設備老舊、損壞或運轉不良，產生塵埃、細砂、金屬磨耗粉、鐵銹、灰份、石棉、墊圈屑及不完全燃燒產物等物質，混入潤滑油中，造成油品的劣化。

(五) 油品氧化：潤滑油的氧化過程相當複雜，碳氫化合物經氧化後生成多種氧化生成物，造成油品劣化。影響氧化的因素很多，根據資料顯示[8]，可簡單歸類成下面數種：(1) 更換油品時，原有的劣化油殘留有多種不純物質，亦會加快油品氧化之速度；(2) 活性大的金屬類對油品氧化具有催化反應效果，故金屬含量越高的油品，較容易產生氧化；(3) 水份或淤渣含量較多，油品較容易氧化；(4) 酸價及黏度增加量越多，則油品越容易氧化；(5) 潤滑油溫高於 130 °C 以上，因氧氣吸收量激增，導致潤滑油品的氧化反應激烈，故潤滑油溫越高越容易氧化；(6) 苯胺點低於 75 °C 的油品，苯胺點越低(低於 75 °C)的油品越容易氧化；(7) 油中含有適當含量的硫化物時，能有效防止油品氧化，在 0.3~0.4 wt % 的硫含量下，氧化最為緩慢。

(六) 油品稀釋：起因為燃料油或水汽混入潤滑油中，主要發生在噴射系統動作的瞬間，因噴射裝置不良所引起。如：噴射壓力過低、噴射器故障、噴霧形狀不良... 等等，導致燃油或水氣劣化潤滑油品質。

四、廢潤滑油再利用具經濟價值

潤滑油為原油經常壓蒸餾後的重油，再經真空蒸餾過程精製而成，因此潤滑油的碳鏈長、分子結構大，具有高黏度、高安定度及高沸點等特性。長碳鏈的潤滑油經使用過後，為了提高其再利用性，通常會以熱裂解或蒸餾方式進行再處理。利用高溫破壞分子間鍵結，將長碳鏈的潤滑油打斷變成碳鏈較短的低沸點、低黏度的燃料油。

國內廢潤滑油經過再利用處理後所產生的再生油品種類，一般有輕油、燃油、基礎油、瀝青及其他固態性油泥等。依據環保署規定，煉鋼設備、水泥窯爐、汽電共生設備、蒸氣設備或焚化爐等，得以廢潤滑油作為生產能源之輔助性燃料[4]。

由於廢潤滑油(1)只須經過幾道程序就能初步製成品質較差的燃料油，經以不同比例與燃料油混合後即可在上述工廠作為燃料；(2)節省輸送成本；(3)被視為使用過的「廢棄物」，直接向產生廢潤滑油的單位收取油料，只須付極低廉的費用；(4)在國內依油品品質，可向行政院環保署「資源回收管理基金管理委員會」申請補貼回收廢潤滑油費用等，因此廢潤滑油甚具經濟利益，根據估計回收的廢潤滑油可以替業者增加約 20 % 的收入[9]，這或許是造成廢潤滑油的回收率低及大多數廢潤滑油去向不明的原因。

五、廢潤滑油回收制度

有鑑於廢潤滑油本身再利用的經濟價值高、再利用技術成熟、回收體系健全... 等因素，環保署決定從民國 93 年 7 月 1 日起，取消廢潤滑油回收制度，改依現行「一

般廢棄物」及「事業廢棄物再利用及清除」方式取代原有的管理制度。回收處理業者，經政府輔導後，即可申請取得公民營廢棄物清除處理許可。

截至民國 93 年 4 月止，已完成登記之民間廢潤滑油回收清除機構共 37 家、廢潤滑油處理機構共 4 家。其餘登記中或未登記完成之回收機構有 17 家、處理機構 1 家。政府為了方便一般民眾或回收體系外自行貯存之廢潤滑油回收，於環保署網頁上設有一回收專線，由專人負責提供相關回收資訊之諮詢與服務，大幅提升政府與民間的合作效能。

目前我國在回收管理制度上，採用屬於較不具強迫性的柔性做法。由各廢潤滑油產生源自行設置貯存桶貯存，當油料蓄滿時，致電回收專線向環保署所屬的資源回收基金管理委員會進行登記核備動作，並通知鄰近經登記核准許可之回收機構進行回收，最後再由環保署派員前往清運，再送往經登記核准許可之資源化處理機構做最後處理。

如果該廢油屬於非資源回收物，例如：摻入含多氯聯苯類之毒性物質、油泥或其他非潤滑油物質等，則改以廢棄物相關規定辦理，最後由公民營廢棄物處理機構進行安置銷毀。另外政府為鼓勵回收，業者可依油料品質申請廢油回收補貼費用[4]。

根據華健[10]實際探訪國內廢潤滑油清運業者及汽機車行回收情形整理而成的數據資料顯示，機車業者向回收潤滑油的業者收取平均約 300 元/公秉的費用，汽車保養修理廠收取平均約 455 元/公秉的費用，而清運業者平均的購入價格為 105 元/公秉，為涵蓋各種油源的平均價格，明顯低於支付汽機車業者的價格。由此可知，市面上實際之回收情形與價格，與國內廢潤滑油清運業者的規模有關，且價格具極大變異性[11]。

六、廢潤滑油之回收處理技術

目前技術較成熟的廢潤滑油回收處理技術有下列數種[12]，工程人員可以根據回收的廢潤滑油的成份與品質、擬投入之資金及所需之處理技術層次、預期得到之產品的種類及規格要求....等因素選擇適當之處理方法及程序，以得到最佳之成本效益。

(一)酸性白土法

為傳統最普遍採用的方法，以 2~6 % 廢潤滑油體積的高濃度硫酸及 20 % 的白土混入，將欲去除之物質形成廢酸及廢泥沉澱，操作簡易、成本低廉。以下為酸性白土法之各流程的功用：

- (1) 加熱脫除輕油及水分：將沸點較低的水分及輕沸物先行脫除。
- (2) 酸處理：加入濃硫酸與廢油中的碳氫化合物、添加劑、硫化物、瀝青、碳粒及易氧化的化合物等成份反應聚合形成酸性污泥沉降，並中和鹼性物質，來達到改善油品的目的。
- (3) 沉澱：利用重力作用及分液漏斗，將酸性污泥沉降分離出。
- (4) 白土處理：針對廢油中的膠份、雜質、有機酸、蠟份及色素等成分，以直接接觸的方法，進行脫除反應。
- (5) 過濾：將含油廢白土及再生基礎油品，進行最後的分離動作。

酸性白土法的設計與操作甚為簡單，而且設備投資金額小，操作彈性大，油品的總體回收率 70 %，但對廢油所含之鹵素化合物無法處理，目前全球仍有 60 個再煉製工廠採用此方法[10]。

不過在酸處理精煉過程中會生成大量的酸性污泥，易造成嚴重的二次污染公害，且處理材料的費用不便宜，加上製程中產生大量有害廢棄物造成環境破壞的問題，先進國家的廢潤滑油業者多半採取新的方法代替之。

(二)蒸餾法

為改良式酸性白土法，過程中也會產生廢酸及酸性污泥。產油率約 8 成，較傳統式酸性白土法高，不過投資成本及操作費用卻比酸性白土法提高不少，且對於鹵化物污染物無法去除處理。以下為蒸餾法之各流程功用[13]：

- (1) 加熱脫除輕油及水分：將沸點較低的水分及輕沸物先行脫除。
- (2) 真空蒸餾：利用抽真空降低壓力的方式，將廢潤滑油提煉淨化，去除膠狀物質、殘渣，有效改善廢油性質。
- (3) 白土處理：針對廢油中的膠份、雜質、有機酸、蠟份及色素等成分，以直接接觸的方法，進行脫除反應。

(三)溶劑萃取法

溶劑萃取法的應用範圍廣泛，目的為提煉萃取某些成分，為了達到某萃取目的，適當選擇溶劑便是重要的關鍵。如何從多種溶劑中作出選擇，有下列幾項要點[14]：

- (1) 化學性質需穩定：避免使用過程中或貯存時產生變質。
- (2) 選擇性要高：選擇性之定義即對進料中各成份之相對溶解度。
- (3) 價格低廉且易取得：避免成本過高。
- (4) 無腐蝕性及毒性：確保實驗過程及機體之安全性。
- (5) 分離溶劑容易：即溶劑回收率高、操作方便簡易。
- (6) 溶劑與油之比重差大且表面張力小：比重差太小則不易分離，而表面張力太大反會造成接觸面積縮小，效果不佳。
- (7) 潛熱、比熱、黏度小：可減少提煉成本及時間，增加熱傳遞率。

不過溶劑萃取法的缺點為成本高、能源消耗多。對鹵化物之污染無法處理，而回收率及處理效果與酸性白土法差不多，差別只是選擇性較其他方法多樣化。以下為溶劑萃取法的各流程功用[13]：

- (1) 加熱脫除輕油及水分：將沸點較低的水分及輕沸物先行脫除。
- (2) 溶劑萃取：以溶劑分離懸浮物、樹脂、金屬化合物等，一般較常用的溶劑為丙烷。
- (3) 離心分離：目的將殘留不溶物質與上層萃取液分離。
- (4) 汽提回收溶劑：利用沸點高低，將低沸點之溶劑取出並回收。
- (5) 白土處理：針對廢油中的膠份、雜質、有機酸、蠟份及色素等成分，以直接接觸的方法，進行脫除反應。

(四)直接觸媒氫化法

潤滑油主要的成分為環烷、石蠟類高分子化合物，及些許不飽和芳香烴。直接觸媒氫化法的優點為回收率高達 90%，藉由不飽和芳香烴結合氫氣後，會形成飽和芳香烴的特性，來增加潤滑油的抗氧化性。除此之外，氫處理對降低色度、去除硫份、降低黏度、除臭、抗乳化及去氧化物等均有不少助益，目前國內外已應用於製程，為工業界上不可或缺的重要步驟之一，較具代表性的製程為 KTI (Kinetics Technology International)及 UOP (Universal Oil Product Inc.)法。以下為直接觸媒氫化法之各流程功用[14]：

- (1) 加熱脫除輕油及水分：將沸點較低的水分及輕沸物先行脫除。
- (2) 真空蒸餾：藉由真空蒸餾方式將廢油先行淨化，脫除質輕之碳氫化合物。

- (3) 分離：將油中的殘餘物，以物理或化學方式進行分離。
- (4) 氫化：去除氯、氧、硫、氮等化合物，並改善油品之色度、氣味、酸鹼值...等。

(五)低溫批次法

採高溫連續處理，將廢油當作基礎油，以低溫真空、加藥處理、加添加劑等方式，逐一將產物分離或調整品質，操作費用及成本投資偏高，一般多由代處理業者代為處理。以下為低溫批次法之各流程的功用[15]：

- (1) 廢油分析：主要用於後續處理中控制及調整操作條件之依據。
- (2) 加藥前處理：添加凝結劑等特殊藥品，來去除廢油中的雜質。
- (3) 低溫真空蒸餾：在真空狀態下，將溫度降低至 90℃ 以下，去除水分或質輕溶劑。
- (4) 過濾：將多餘物質作進一步去除工作，維持油品品質。
- (5) 調質處理：依照需求加入添加劑，調整再生油的油品性質。

(六)薄膜氫化法

目前國外 KTI、CEP、Breslube/Safetykleen 及 Buss Luwa 等廠已採用此技術。以下為薄膜氫化法之各流程的功用[10, 16]：

- (1) 預驟餾及化學處理：在大氣壓力或些微真空的情況下將廢潤滑油中所含水份、及輕質產物及微量燃料去除。
- (2) 薄膜蒸發器及加氫處理：在極高的真空度及溫度下，透過薄膜蒸發器，將重金屬、高分子、添加劑及其他劣質產物都以瀝青殘渣去除，產生的潤滑油部份接著採取加氫處理。
- (3) 蒸餾：經加氫處理後，將潤滑油送往真空塔中分離成多種油品。

(七)超細過濾法

法國石油研究院(IFP)發展出的方式，利用三倍於廢油的己烷，降低廢油黏度，增加流動性，在壓力的擠壓下，將混合油通過丙烯腈共聚物所製成的過濾膜，之後回收己烷重複利用，剩下的廢油用加酸處理，但所製造的酸泥污染已經大幅降低[17, 18]。

目前較先進的商業化的處理方法為 Mohawk 法[17]，KTI 法及 CEP 方法等方法因與 Mohawk 法類似，且流程均以氫化做處理，故多半會歸入 Mohawk 方法中[14, 17]。比較這些製程後可以發現 Mohawk 法雖無因使用硫酸而有酸泥產生、較不環保的問題。不過因使用氫化反應，在價格方面較其他方法昂貴，因此各有其優缺點。加入氫氣的回收費用約為 348.8 美元/噸，而其中氫化反應所耗用的氫氣費用就佔 198.4 美元/噸[19]，因此對於氫化反應的要求能否降低，將是節省成本的關鍵。另一方面，以上所列舉的方法，並不跟已經商業化的再精煉步驟完全相同，有些是混合兩種以上的方法或省略某些程序，必需視當地回收油質來斟酌。

另外，從原油提煉方法中可以知道，若想從石油中去除沒有用的成分或提取特別的成分，可使用所謂的溶劑萃取法來精煉。使用溶劑萃取出來的油品，稱之為萃取油，剩餘的部分是為萃餘油。溶劑萃取法主要使用於芳香烴工廠，從重組油、及裂解汽油中可以萃取並分離出苯、甲苯、混合二甲苯、及芳香烴等石油化學原料[20]。

此外以溶劑萃取法及白土處理法 (clay treatment)、吸附法 (absorption)、結晶過濾法等用物理分離以製造潤滑油的方法，在石油工業界也都很常用，可以發現再煉製的方法有些是應用原油提煉中的部分方法，也因此有一種處理廢潤滑油的方式，是將廢潤滑油重新加到原油煉製過程中一併提煉。

七、結論

潤滑油用來降低運轉機件的表面摩擦力，而延長機件的使用壽命，因此廣泛使用於各種型式的機構或設備。經過一段時間的作用後，潤滑油的機件潤滑效果逐漸劣化，因此必需更換而產生廢潤滑油，潤滑油劣化的原因很多包括碳化、油品乳化、氧化、油品稀釋或添加劑劣化等。廢潤滑油具相當經濟價值，若能加以回收再經過適當的處理程序，除了提高產值，亦可避免因隨地丟棄廢潤滑油所造成土壤、水源及環境的危害。目前在臺灣地區大部份的廢潤滑油流向不明，回收制度尚存檢討空間。廢潤滑油的回收處理技術已經相當成熟，經處理後可產生輕油、燃料油、潤滑油基礎油、柴油、瀝青....等產品，所使用之技術包括超細過濾法、薄膜氫化法、低溫批次法....等，可依據回收廢潤滑油品質、技術層次、投入資金、產品的種類與規格等條件採用適當的處理方法，以得到最佳的成本效益。

參考文獻

1. 環保署，蔡玲蘭立委質詢行政院提案內容，案號 5-5-12-1091, 2004.
2. 陳正強，廢潤滑油回收制度之研究，國立臺灣大學農業經濟研究所碩士論文，1998。
3. 華健、吳怡萱，廢潤滑油再煉製回收技術評估，工業污染防治月刊，第 76 期，p. 56-86，1999.
4. 環保署，資源回收網 88-91 年統計月報。
5. 聯合國海洋污染科學層面專家合作小組，石油及相關化學品與廢棄物對海洋環境之衝擊報告書，1993.
6. US Environmental Protection Agency, Environmental fact sheet :EPA guideline for purchasing re-refined lubricating oil, EPA530SW91043, 1991.
7. 中油人事訓練所叢書，石油產品概說，中國石油公司，pp. 51-83 1986.
8. 賴耿陽編著，潤滑油及潤滑，pp. 96-105，復漢出版社，台灣台南，1985.
9. V.S. Azev, P. V. Chulkov, S. Lebedev, and V. V. Luneva. , Used oils component of diesel fuels, Chemistry and Technology of Fuels and Oils, Vol. 37, No. 4, pp. 232-235, 2001.
10. 華健、吳怡萱，廢潤滑油回收清除處理費率檢討，環保署期末報告，2002.
11. 鄭智和，潤滑油資源化之探討，清潔生產雙月刊，第 24 期，1999.
12. 許宏政，再生提煉廢潤滑油之油品性質以及引擎性能研究，國立臺灣海洋大學輪機工程學系碩士論文，2003.
13. R. L. Bechtold and S. S. Lestz, Combustion characteristics of diesel fuel blends containing used lubrication oils, SAE 760116, 1976.
14. KTI, Waste lube oil re-refining for King Fahd University of petroleum and mineral, Dhahran Document No. 10091, Kinetic Technology International Corp., C A. 1989.
15. A. S. Amiro, A. V. Vlasov and E. A. Mikheev, Collection and used petroleum production abroad, TSNITEIMS, Moscow, 1981.

16. 工業污染防治技術服務團，廢棄物資源化利用技術評估整合，經濟部工業局，1998.
17. L. H. Magnabosco, M. Falconer and K. Padmanbhan, 1991. The Mohawk-CEP re-refining process. Proceeding of 6th International Conference on Used Oil Recovery and Reuse, San Francisco, CA, May 28-31, 1991.
18. 張秀月，1994-1997 潤滑油、脂採購指南，石油出版社，臺灣臺北，pp. 21-35 and pp. 74-78, 1993.
19. M. Farhat, A. Rahman, J. Hamdan, Techno-economic evaluation of waste lube oil refining, Int. J. Production Economics, Vol. 42, pp. 263-273, 1995.
20. 柯清水，石油化學概論，正文書局，pp. 131-147，1992.

機車排氣污染法規與因應對策

廖俊性* 吳浴沂⁺

Yuh-Yih Wu, Jun-Xing Liao

國立台北科技大學車輛工程系

Department of Vehicle Engineering, National Taipei University of Technology, Taipei,
Taiwan, ROC

摘要

我國機車總數已超過 1,350 萬輛，對整體環境空氣品質影響甚鉅，環保署從以往至今，對機動車輛污染管制不遺餘力，尤其是機車污染法規一向走在世界的前端，也是許多國家學習效法的對象。從 1988 年 1 月 1 日起我國開始實行機車第一期污染法規管制標準，今年(2007)7 月 1 日即將實施第五期機車污染管制法規，測試方式也從以往之熱車啟動改為冷車啟動測試，管制標準變得更為嚴格。本文針對我國各期排氣污染法規標準，從技術上探討其因應之對策。

關鍵辭：機車、污染法規、冷車啟動

Abstract

The total amount of motorcycles in Taiwan has already exceeded 13.5 million and it affected our air quality seriously for the environment. The Environmental Protection Administration (EPA) has made strict regulations to limit the vehicle exhaust emissions so far. Our motorcycle emission regulation is almost the most stringent of the world and it can be the beacon for other countries. EPA has implemented the first phase of motorcycle emission standards since January 1, 1988 and now it will implement the fifth motorcycle emission standards from July 1, 2007. By the way, the driving cycle test procedure changed from warm start to cold start. So, the standard is more rigorously. This report is to probe into the development of the exhaust emission standards of Taiwan and the strategy of technology to solve it.

Keywords: motorcycle, emission regulation, cold start

一、前言

我國機車產業在世界上具有舉足輕重之地位，根據我國 2006 年交通部月報統計顯示[1]，目前國內機車總數量已達 1,350 萬輛以上，外銷地區超過 20 國。由以上統計資料顯示，國內機車產業不僅於國際間佔有一席之地，且已逐漸邁入國際化，與國際間往來密切，同時，隨著我國進入世界貿易組織(WTO)，機車開放進口，貿易商平行輸入機車更為頻繁，因此國際機車法規的變化，動輒影響國內機車業者生存，與我國同樣採用 ECE 行車型態的歐盟，已於 2006 年起實施新的機車污染法規，且比我國機車第四期污染法規更為嚴格，對國內機車業者的影響不容小覷，我國政府為與國際接軌，也即將於 2007 年 7 月 1 日起實施我國機車第五期排氣污染法規，基於此觀點，本文將介紹歐盟、我國與中國大陸之機車污染法規沿革，並探討我國各期污染法規，技術上之因應對策，及我國與歐盟兩者法規作一比較，以作為業者之參考。

二、國內外機車污染法規

*國立台北科技大學車輛工程研究所碩士研究生；email: t5448012@ntut.edu.tw

⁺國立台北科技大學車輛工程系助理教授；email: cyywu@ntut.edu.tw

2.1 歐盟機車污染法規介紹

在 1999 年之前，歐洲各國機車污染管制標準，乃各國自訂，而且污染管制標準都很鬆，但自 1997 年歐盟 15 國制定機車法規 Directive 97/24/EC，確定從 1999 年 6 月 17 日開始，歐盟 15 國機車污染管制採用同一標準(明訂於 Directive 97/24/EC)，並彼此相互承認認證結果，也就是型式認證結果，可以通行歐盟 15 國，甚至於更多歐洲其他國家，其所使用之行車型態為 ECE-40，一個基本市區行車型態為 195 秒，測試時，啟動引擎，先惰轉 40 秒，再連續行駛 6 個基本市區行車型態(195×6 秒)，前 2 個基本市區行車型態作為暖車用，後 4 個基本市區行車型態才真正取樣尾管之排氣並進行分析，故為熱車測試，其測試型態如圖 1 所示[2]。

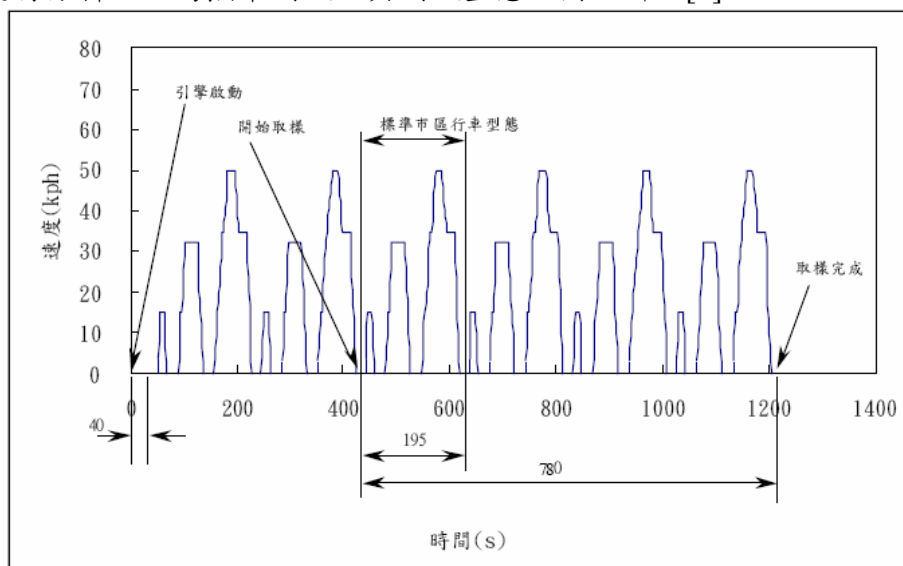


圖 1. 歐盟機車測試型態[2]

歐盟機車污染管制項目為 CO、HC 與 NO_x 分開管制，不似我國以 HC+NO_x 合併管制，歐盟第一期(EU1，1999 年開始)機車排放標準，以行程別分，二行程之 CO、HC 與 NO_x 分別為 8.0g/km、4.0g/km 與 0.1g/km，四行程之 CO、HC 與 NO_x 分別為 13.0g/km、3.0g/km 與 0.3g/km，惰轉污染則規定 CO 須為 4.5% 以內，無蒸發測試與耐久規定。歐盟在 2002 年又修訂法規，針對其中污染管制部分，制定新的排放標準與實施日期，依據新的法規，自 2003 年 4 月 1 日開始，歐盟第二期(EU2)機車排放標準，不再以行程別區分，改以排氣量區分，以 150cc 為分界點，150cc 以下之 CO、HC 與 NO_x 排放標準分別為 5.5g/km、1.2g/km 與 0.3g/km；150cc(含)以上之 CO、HC 與 NO_x 排放標準分別為 5.5g/km、1.0g/km 與 0.3g/km，CO 與 HC 都比第一期嚴格許多，CO 至少加嚴 32% 以上，HC 至少加嚴 60% 以上，150cc(含)以上機車污染標準比 150cc 以下機車更嚴格，歐盟第二期之測試型態如同歐盟第一期之測試型態，只是分類不同，排放標準不同，惰轉污染則規定 CO 須在 4.5% 以內，亦無蒸發測試與耐久規定。從 2006 年起，歐盟將再進一步加嚴機車污染法規，是為歐盟第三期(EU3)機車排放標準，其測試型態將有明顯變革，新的測試型態將採用冷車啟動方式測試，且型態亦與以往不同，尤其是大排氣量機車。歐盟第三期排放標準分類同第二期，一樣以 150cc 為分界點，150cc 以下機車測試型態是引擎啟動後，直接行駛 6 個 ECE-40，如圖 2 所示，並取樣尾管排氣，進行分析，不再有 40 秒惰轉及行駛 2 個 ECE-40 暖車之部分，CO、HC 與 NO_x 排放標準分別為 2.0g/km、0.8g/km 與 0.15g/km；150cc(含)以上機車測試型態是引擎啟動後，比照汽油小客車之測試型態，行駛 4 個

ECE-40(UDC，Urban Driving Cycle)及 1 個 EUDC(Extra-Urban Driving Cycle)，如圖 3 所示，CO、HC 與 NO_x 排放標準分別為 2.0g/km、0.3g/km 與 0.15g/km，同樣的，150cc(含)以上機車污染標準比 150cc 以下機車更嚴格，且歐盟第三期法規比起第二期，除了改為冷車啟動方式測試以外，測試型態不同，排放標準亦加嚴，整體而言，是大幅度加嚴，將成為世界最嚴之機車污染法規。將歐盟各期標準列表比較如表 1 所示。

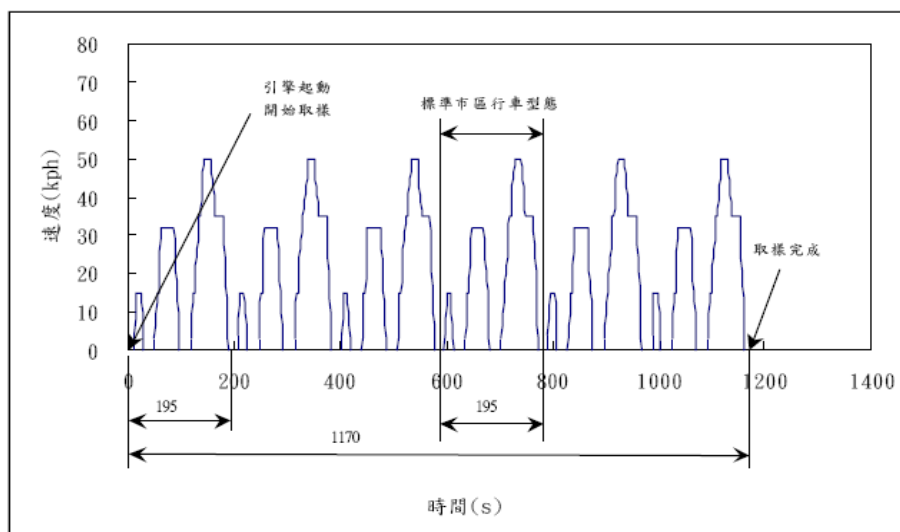


圖 2. 歐盟第三期 150cc 以下機車測試型態[2]

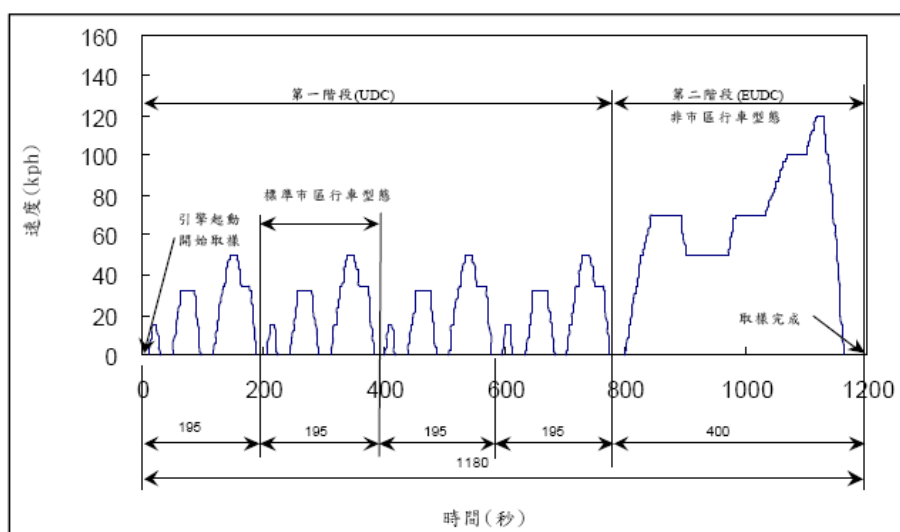


圖 3. 歐盟第三期 150cc(含)以上機車測試型態[2]

表 1. 歐盟各期排放標準比較表

期別	實施日期	車輛分類	排放標準(g/km)			行車型態
			CO	HC	NO _x	
EU1	1999.06.17	二行程	8.0	4.0	0.1	ECE-40(熱車)
		四行程	13.0	3.0	0.3	
EU2	2003.04.01	<150cc	5.5	1.2	0.3	
		≥150cc	5.5	1.0	0.3	
EU3	2006.01.01	<150cc	2.0	0.8	0.15	UDC(冷車)
		≥150cc	2.0	0.3	0.15	UDC+EUDC(冷車)

2.2 我國機車污染法規介紹

我國機車行車型態污染管制始於 1988 年 1 月 1 日，為機車第一期污染排放標準 [3]，行車型態採用歐洲各國使用之基本市區行車型態 ECE-40，如圖 4 所示，行駛時間為 195 秒，行駛距離約為 1 公里，最高車速為 50km/hr，測試程序則依 CNS11386 進行熱車起動測試[4]，先以 4 個 ECE-40 或定速 50km/hr 行駛 10 公里進行暖車(不採樣)，再開始測試，先惰轉 40 秒，再連續行駛(並同時取樣尾管排氣)4 個 ECE-40，並將取樣結果進行分析。

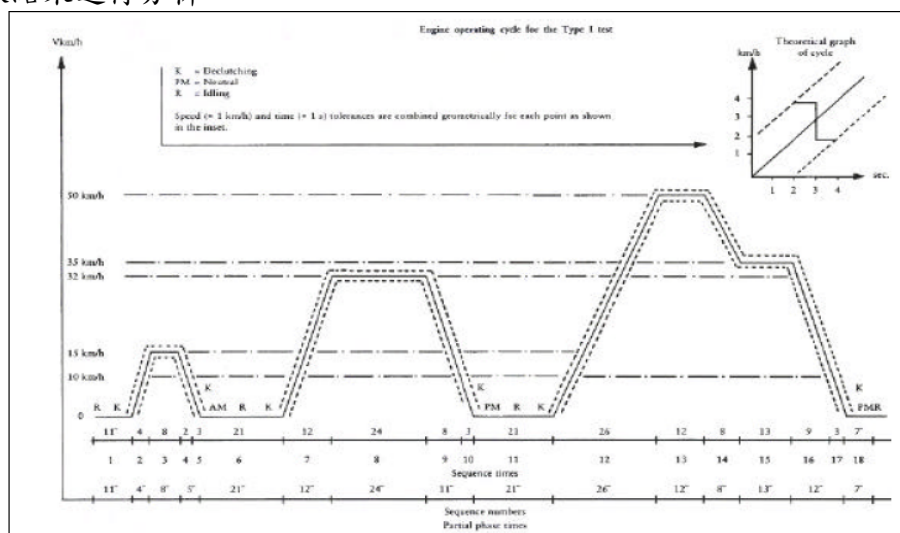


圖 4. ECE-40 市區行車型態[4]

機車污染管制項目為 CO 與 HC+NO_x，第一期(1988 年 1 月 1 日起)污染排放標準值分別為 8.8g/km 與 5.5g/km，惰轉污染管制值 CO 為 4.5%，HC 為 7000ppm。自 1991 年 7 月 1 日起，進入第二期污染排放管制，測試方法與行車型態維持不變，但 CO 與 HC+NO_x 的標準值分別加嚴了 49%與 45%，為 4.5g/km 與 3.0g/km，惰轉污染管制值亦維持不變，並有蒸發測試，管制值為 2g/test，且首創耐久保證期限 6000 公里。第三期污染排放管制，從 1998 年 1 月 1 日起實施，測試方法與行車型態依舊維持不變，但 CO 與 HC+NO_x 的標準值分別再加嚴了 22%與 33%，為 3.5g/km 與 2.0g/km，惰轉污染管制值 CO 為 4.0%，HC 為 6000ppm，有蒸發測試，管制值維持不變，而耐久保證亦提高為 15000 公里；但為因應我國進入 WTO 後，開放進口排氣量 150cc 以上機車，因此修定第三期污染法規，自 2002 年 1 月 1 日起，分成 700cc 以下與 700cc(含)以上兩個等級，其中 700cc 以下之 CO 與 HC+NO_x 的標準值維持不變，700cc(含)以上之 CO 與 HC+NO_x 的標準值分別為 10.0g/km、2.5g/km。自 2004 年 1 月 1 日起，我國將邁入第四期污染排放管制，行車型態依舊維持不變，然而測試方法由以往之熱車起動測試，改為冷車起動測試[5]，車輛先於 20°C~30°C 之環境溫度下，靜置 6~36 小時，開始測試時，啟動引擎，先惰轉 40 秒，再連續行駛(並同時取樣尾管排氣)4 個 ECE-40(型態同 CNS11386，但引擎為冷起動)，並將取樣結果進行分析，同樣的，排放標準亦分成 700cc 以下與 700cc(含)以上兩個等級，其中 700cc 以下等級又細分為二、四行程而有不同排放標準，700cc 以下二行程，CO 與 HC+NO_x 的標準值分別為 7.0g/km 與 1.0g/km，700cc 以下四行程，CO 與 HC+NO_x 的標準值分別為 7.0g/km 與 2.0g/km，耐久保證期限修正為二年六個月或 15000 公里，惰轉污染也進一步加嚴，管制值 CO 為 3.0%，HC 為 2000ppm，700cc(含)以上，不分二、四行程，CO 與 HC+NO_x 的標準值分別為 12.0g/km 與 2.5g/km。而即將於 2007 年 7

月 1 日實施的我國機車第五期排氣污染法規，是以歐盟實施之三期機車排放管制標準、測試方法為標竿，並參考國際法規調和趨勢相關資訊而訂定，其法規標準 150cc 以下機車 CO、HC 與 NO_x 排放標準分別為 2.0g/km、0.8g/km 與 0.15g/km；150cc(含) 以上機車 CO、HC 與 NO_x 排放標準分別為 2.0g/km、0.3g/km 與 0.15g/km，並保留自我國二期法規即有的耐久規定，維持與四期法規相同二年六個月或 15000km 耐久管制標準，情轉污染管制值 CO 依然為 3.0%，但 HC 則加嚴從四期的 2000ppm 下修到 1600ppm，將上述各期排放標準比較列表如表 2 所示。

表 2. 我國各期排放標準比較表

期別	實施日期	車輛分類	排放標準(g/km)				行車型態	耐久規定
			CO	HC	NO _x	HC+NO _x		
一期	1988.01.01	全部	8.8	—	—	5.5	ECE-40(熱車)	—
二期	1991.07.01	全部	4.5	—	—	3.0	ECE-40(熱車)	6000km
三期	1998.01.01	全部	3.5	—	—	2.0	ECE-40(熱車)	15000km
	2002.01.01	<700cc	3.5	—	—	2.0		
	2002.01.01	≥700cc	10.0	—	—	2.5		
四期	2004.01.01	<700cc 二行程	7.0	—	—	1.0	ECE-40(冷車)	2.5 年或 15000km
		<700cc 四行程	7.0	—	—	2.0		
	2002.01.01	≥700cc	10.0	—	—	2.5	ECE-40(熱車)	
五期	2007.07.01	<150cc	2.0	0.8	0.15	—	UDC(冷車)	3 年或
		≥150cc	2.0	0.3	0.15	—	UDC+EUDC(冷車)	15000km

2.3 中國大陸機車污染法規介紹

中國大陸自 1990 年 5 月 1 日以後商檢制度之 IDLE 規制中規定，二行程機車 CO 排放標準為 4.5%、HC 排放標準為 7000ppm；四行程機車 CO 排放標準仍為 4.5%、HC 排放標準則加嚴為 2000ppm；現行規定係第一階段法規標準，自 2003 年 1 月 1 日開始實施(生產一致性 2003.07.01)，行車型態與測試程序採 ECE-40 熱車測試，車輛分類採 50cc 以上、以下並用二、四行程來劃分，50cc 以下機車(二行程)，其污染排放標準，CO、HC+NO_x 分別為 6.0、3.0g/km，50cc(含)以下機車(四行程)，其污染排放標準，CO、HC+NO_x 分別為 12.0、6.0 g/km，50cc(含)以上機車(二行程)，其污染排放標準，CO、HC、NO_x 分別為 8.0、4.0、0.1 g/km，50cc(含)以上機車(四行程)，其污染排放標準，CO、HC、NO_x 分別為 13.0、3.0、0.3 g/km。未來發展將以考慮國際法規接軌與產業國際化之觀點並擬定第二階段法規標準，預計 2004 年 1 月 1 日開始實施(生產一致性 2005.01.01)，取消車輛分類及二、四行程劃分，改採單一標準進行管制，其污染排放標準，CO、HC、NO_x 分別為 5.5、1.2、0.3 g/km，行車型態與測試程序採 ECE-40 熱車測試。上述排放標準比較列表如表 3 所示

表 3. 中國大陸各期機車排放管制標準

實施日期	車輛分類	排放標準(g/km)				行車型態	耐久規定
		CO	HC	NO _x	HC+ NO _x		
2003.01.01	50cc 以下 二行程	6.0	—	—	3.0	ECE-40(熱車)	6000km

	50cc 以下 四行程	12.0	—	—	6.0		
	50cc 以上 二行程	8.0	4.0	0.1	—		
	50cc 以上 四行程	13.0	3.0	0.3	—		
2004.01.01	50cc 以下	5.5	1.2	0.3	—	UDC(熱車)	6000km
	50cc 以上						10000km

三、我國機車四期與歐盟機車三期污染法規比較

我國機車污染法規目前為四期，與歐盟機車三期污染法規差異主要在於：

- 車輛分類不同--我國以 700cc 為分界，歐盟以 150cc 為分界。
- 污染物管制方法不同--我國對 HC、NO_x 合併管制，歐盟則分開管制。
- 測試型態不同--我國是先惰轉 40 秒，再連續行駛 4 個 ECE-40，歐盟於 150cc 以下機車，直接行駛 6 個 ECE-40，150cc (含)以上機車，行駛 4 個 ECE-40(UDC) 及 1 個 EUDC。

歐盟於短短 6 年半的時間，連續將機車污染法規由第一期推展至第三期，且每一期污染標準均大幅度降低，顯示歐盟對機車污染排放的重視，尤其是對 HC、NO_x 分開管制，更顯示歐盟對 NO_x 的重視，不似我國對 HC、NO_x 採合併管制，一方之消長，可由另一方來彌補。再者，測試型態不同，對整個污染結果影響甚鉅，由於引擎冷啟動階段須較濃混合比以利啟動，造成此階段污染量較熱車時多，以過去之研究發現，冷啟動污染多集中於測試型態之前 2 公里，故歐盟比照汽油小客車測試型態之作法，取消惰轉 40 秒之規定，以符合實際使用習慣。

對 150cc(含)以上機車而言，歐盟已考慮大排氣量機車若仍沿用以往之測試型態，其最高測試車速只有 50km/hr，無法反應出大排氣量機車之使用特性，測試結果之代表性不足，無法真正落實大排氣量機車之污染管制，故其測試型態改依照汽油小客車測試型態之作法，行駛 4 個 ECE-40(UDC)及 1 個 EUDC，在 EUDC 階段，最高測試車速可達 120 km/hr，若該車馬力不足 30 kW 時，最高測試車速只須至 90 km/hr 即可，即使如此，由於高速段之影響，引擎須加大油門以跟上測試型態，CO 就會上升，同時在高負荷下，引擎燃燒溫度上升，NO_x 就無法避免的上升，在如此狀況下，才能真正測出大排氣量機車的污染。

四、我國各期污染法規之因應對策

我國機車排氣污染管制始於 1988 年 1 月 1 日，為機車第一期空氣污染物排放標準，此政策對於我國國內機車製造廠是一重要里程碑，意指我國機車產業將進入機車排氣污染管制的時代；隨著世界環保意識的抬頭，對於政府環保法規的要求，各家機車廠無不投入大量人力、物力，積極採取因應措施，研發新型技術以符合日益嚴苛的環保法規，如：引擎設計改良、高精度化油器、新型燃燒系統、二次空氣系統、三元觸媒轉化器、電子燃油噴油系統...等等。上述新型技術將與我國各期污染法規對應列表如表 4 所示。

表 4. 我國機車污染控制技術演進表

期別	實施日期	車廠因應對策
----	------	--------

一期	1988.01.01	引擎設計改良、化油器改良
二期	1991.07.01	引擎設計改良、高精度化油器、二次空氣系統
三期	1998.01.01	新型燃燒系統、觸媒轉化器
四期	2004.01.01	觸媒轉化器、二次空氣系統、電子燃油噴射系統
五期	2007.07.01	電子燃油噴射系統、電動機車、混合動力機車、燃料電池機車

五、結語

歐盟 EU3 行車型態較我國四期減少 40 秒怠速運轉時間，對冷車階段排放影響很大。因此針對對應冷車階段排放，歐盟三期行車型態困難度較我國四期為高。對 150cc 以上車型而言，其排放減量重點區域在模擬高速公路的 EUDC 行駛階段，與 150cc 以下車型完全不同。過去我國機車污染法規一向領先世界各國，但從上述我國機車四期與歐盟三期污染法規比較來看，歐盟三期污染法規已經比我國四期法規嚴格許多。然而我國也積極訂定新一期之污染標準，對於即將實施的第五期排氣污染法規，機車低污染技術對策可從引擎污染源排污減量、後處理系統排污減量以及整車匹配與調教技術三方面著手，以法規的限制，帶動我國機車產業界的進步發展，達到業者能夠生存又能兼顧環保之雙贏局面。

六、參考文獻

1. 臺閩地區機動車輛登記數，http://www.motc.gov.tw/monthly_report/c4050.xls
2. 巫金台，機車第五期排放標準及低污染機車先進技術評估期末報告，2004
3. 行政院環境保護署，「交通工具空氣污染物排放標準」，2002
4. 中國國家標準 CNS11386，「機器腳踏車排氣污染量試驗法」，1992
5. 行政院環境保護署，「機器腳踏車冷車行車型態排氣污染測試方法及程序」
6. 陳肇隆，我國機車四期與歐盟機車 2006 年污染法規比較，機械工業雜誌，第 248 期，2003

生質柴油最佳化綠色設計

Optimized Green Designation for BioDiesel

吳贊鐸^{*1} 吳安德^{*2} 吳澤松^{*3} 吳庭年^{*4}

Tzann-Dwo Wu¹ Oliver Wu² Tser-Son Wu³ Ting-Nien Wu⁴

1 東南技術學院工業工程與管理系

2 以理能源科技股份有限公司

3 崑山科技大學機械工程系

4 崑山科技大學環境工程系

1 Department of Industrial Engineering and Management,
Tung-Nan Institute of Technology, Taipei, Taiwan

2 Daniel Energy Technical Corp., Kaohsiung, Taiwan

3 Department of Mechanical Engineering, Kun Shan University, Tainan, Taiwan

4 Department of Environmental Engineering, Kun Shan University, Tainan, Taiwan

摘要

歐盟廢電機電子設備禁用毒性物質指令(RoHS)、廢電機電子產品回收指令(WEEE)、能源使用產品環保設計指令(EuP) 及包裝及廢棄物包裝指令(PPw)相繼於 2006.7.1、2006.12.31、2007.8.11 及 2008.12.31 生效，相關之產品需以「生命週期思維」(life cycle thinking)進行產品設計。本研究係以生質柴油為環境化(綠色)設計之主軸，整合本研究開發之綠色產品設計即時決策管理系統(Gp-DFSS-DRW3)及綠色設計四大面向：(1)綠色產品設計流程；(2)生命週期盤查；(3)生命週期分析；(4) 生命週期衝擊評估，並導入 TRIZ 衝突理論、Taguchi 穩建設計法及層級結構分析法(AHP)，進行生質柴油最佳化組合之研發設計。「方案 II：BD 8020」基於合格車之可及性面向、成本效益面向及政府機關滿意面向上，以總權重 1.000 及排序權重 0.712，評選為最佳方案。最佳化之生質柴油與柴油組合，將可有效解決移動污染源對溫室氣體減量效益、提早符合交通工具空氣污染物排放管制標準與能源多元化之目標。

關鍵詞：生質柴油、綠色設計、生命週期評估、衝突理論、穩建設計法、層級結構分析法

Abstract

According to the European Union Directives, such as RoHS, WEEE, EUP, and PPW which be implemented on 2006.7.1, 2006.12.31, 2007.8.11, and 2008.12.31. Enterprises have to face the global greening tendency. Maintaining the normal quality management system or environmental management system is not sufficient for responding to the trends of green procurement, green consumption or green design. In order to help product designers or decision-makers to quickly meet the numerous green

^{*1} 東南技術學院工業工程與管理系

^{*2} 以理能源科技股份有限公司

^{*3} 崑山科技大學機械工程系

^{*4} 崑山科技大學環境工程系

requirements, the writer has developed a system called “Green Products Resource Integration System(Gp-DFSS-DRW3) for e6σ-Green Design. The related product's designation should base on “life cycle thinking.” In this study, to integrate Gp-DFSS-DRW3 system, green design four process: (1)green product design process; (2)life cycle inventory; (3)life cycle analysis; (4)life cycle impact assessment, TRIZ conflict theory, Taguchi robust design method, and AHP to create the best mixture rate which using different mixture fuel between BioDiesel and diesel in diesel-powered engine. Finally, alternative II (20%BioDiesel + 80%Diesel) was developed (Priority weighting = 0.712). It can effectively resolve exhaust emission from moving source to meet Kyoto Protocol-CO₂ reduction policy, enhance to fit exhausted emission standard of diesel engine, and adopt energy renewable and multi-purpose.

Key Words: BioDiesel, green design, life cycle evaluation, TRIZ, Taguchi method, AHP

一、前言

1970 年代全球石油危機，工業國家對石油之依賴度與日遽增。每年龐大石化燃料消耗，造成全球環境、氣候變遷與溫室效應。替代能源乃因應而生，再生能源(如：太陽能、地熱、替代燃料)之研發已為所亟需。其中以植物油脂為原料，產製之生質柴油(Biodiesel)，儼然蔚為趨勢，且有替代傳統柴油之能量。各國為因應日益嚴重之空氣污染與能源節約問題，已訂定逐年加嚴之交通工具排放管制標準與油品規範。為此，「綠色產品(Green Product)」已全方為主導新世紀車輛與新能源之設計開發(Design & Development)導向。若著力於低污染車輛所需之污染防治設備開發，將導致研發與銷售成本增加。若施力於低污染燃料之研發與產製則油品煉製製程將重行配置，且油品價格勢必提高。基於前提設計開發技術與成本之雙重考量，替代燃料(Fuel Alternative)(如：生質柴油、甲醇、乙醇、液化石油氣、壓縮天然氣)之發展已為當務之急。

二、生質柴油

生質柴油係利用動、植物油脂為原料，經反應成為可供內燃機(ICE)使用之燃料。依據京都議定書(Kyoto Protocol)規定：2008~2012 年歐盟需減少 8%之二氧化碳(CO₂)排放，若以生命週期分析(LCA)，生質柴油排放之二氧化碳遠比礦物柴油要少約 50%[14-15]。以脂肪酸甲基酯(Fatty Acid Methyl Esters, FAMES)為柴油之摻配成份，已有相當之研究發展。使用脂肪酸甲基酯可強化農業之生產活動，且減少對石油之依賴，但需端視當地氣候環境及農產品是否有無匱乏之虞而定。自然界存在之油脂係由甘油與各種高級脂肪酸構成，液態為油，固態為脂。植物性油脂由含較多不飽和脂肪酸所構成，動物性油脂則以飽和脂肪酸居多。一般動植物油脂包含十四種不同之脂肪酸，且由八至二十二個碳所構成[14-15]。高脂肪酸飽和度將提高十六烷值與流動點，降低氮氧化物污染並改善油品穩定度。通常包含各種脂肪酸之動植物油脂(如：棕櫚油(Palm Oil)、椰子油(Coconut)、油蔴菜籽油(Rapeseed)、黃豆油(Soybean)、玉米油、葵花油、米糠油、動物油脂或廢食用油)均可供產製生質柴油原料之用。本產品係以棕櫚油為原料，並以氫氧化鈉(即油脂重量之 1%)或甲醇鈉(Sodium methoxide)為觸媒(於 63°C 混合攪拌反應 2 小時)；復經與醇類(甲醇、乙醇)交酯化反應(Transesterification Reaction)後，即可產製生質柴油(即脂肪酸甲酯(乙酯)與其副產品甘油(Glycerine)；其製程與質

量平衡圖，如圖 1[14-15]。本生質柴油主要由十六碳及十八碳較飽和之脂肪酸構成，所產製之脂肪酸甲酯具高流動點與氧化穩定性。其型式有四：酯化合物(Esterification)；(2)醚化合物(Etherification)；(3)混合柴油(Dieselhol)；(4)烷化合物(Alkylation)；其反應過程如圖 2。柴油引擎排放之空氣污染物含有多種致癌或對人體健康有害之物質：(1)一氧化碳(CO)；(2)碳氫化合物(HC)；(3)氮氧化物(NO_x)；(4)黑煙(Smoke)；(5)粒狀污染物 (Particulate Matter：PM)；(6)多環芳香烴化合物(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons：PAH)；(7)揮發性有機化合物(Volatile Organic Compounds：VOCs)；(8)二氧化碳(CO₂)；(9)惡臭物質。基於環保、健康與能源之三重考量，生質柴油已為柴油替代燃料之另一選擇。其特性有八：(1)無毒；(2)高十六烷值(Cetane Number)，可促進燃燒點火效果；(3)不含具芳香族烴類之致癌性物質及硫(S)、鉛(Pb)、鹵素等有害物質；(4)CO/HC/PM/Smoke 排放量低；(5)NO_x 偏高；(6)與柴油混合性佳；(7)業經美國環保署(EPA)及食品藥物管理局(FDA)認可為清潔環保新替代燃料或燃料添加劑；(8)無需改裝柴油引擎，可直接添加使用。主要物化特性則包含：(1)密度；(2)閃點；(3)水分及沈澱物；(4)蒸餾溫度；(5)動力黏度；(6)灰份；(7)含硫量；(8)銅片腐蝕性；(9)十六烷指數；(10)流動點；(11)藍氏殘碳量；(12)十六烷值；(13)多環芳香烴化合物；(14)HFRB 潤滑性。

2.1 動力生質柴油

1.合成烷化物質(Synthetic alkylation matter)

一般範圍 47%~96%，較佳範圍 47%~94%，最佳範圍 78%~94%。係一不同分子量之中碳數烷烴類化合物混合之合成烷化物質，其碳素分佈為 C3-C25，應用範圍為 C5-C20，最佳之使用範圍則為 C13-C19。

2.脂肪酸烷基酯(Fatty Alkylester)

一般範圍 3%~95%，較佳範圍 3%~50%，最佳範圍 5%~50%。

3.染料(Dye)

一般範圍 1ppm~10ppm，較佳範圍 1ppm~5ppm，最佳範圍 1ppm~3ppm。

4.保存劑(Preservative)

一般範圍 10ppm~500ppm，較佳範圍 10ppm~100ppm，最佳範圍 50ppm~80ppm。

5.流動點改善劑(Pour point depressant)

依地區氣候之需求-3℃~-20℃，而使用不同添加劑及劑量。

將以上之成分依序製造流程如下：

(1)1.+2.+5.=a 充分混合，加熱促使反應，使三物質安定成一相。

(2)3.+4.+a=充分混合完成。

柴油進行引擎性能測試，四種生質柴油之組成如下表：

表 1 生質柴油組成表

成份	BD9505	BD8020	BD5050	B100
顏色	青	粉紅	綠	淺黃
脂肪酸甲酯	5.56%	21.86%	52.81%	100%
合成烷化物質	94.19%	77.89%	46.94%	-
其它	0.25%	0.25%	0.25%	-

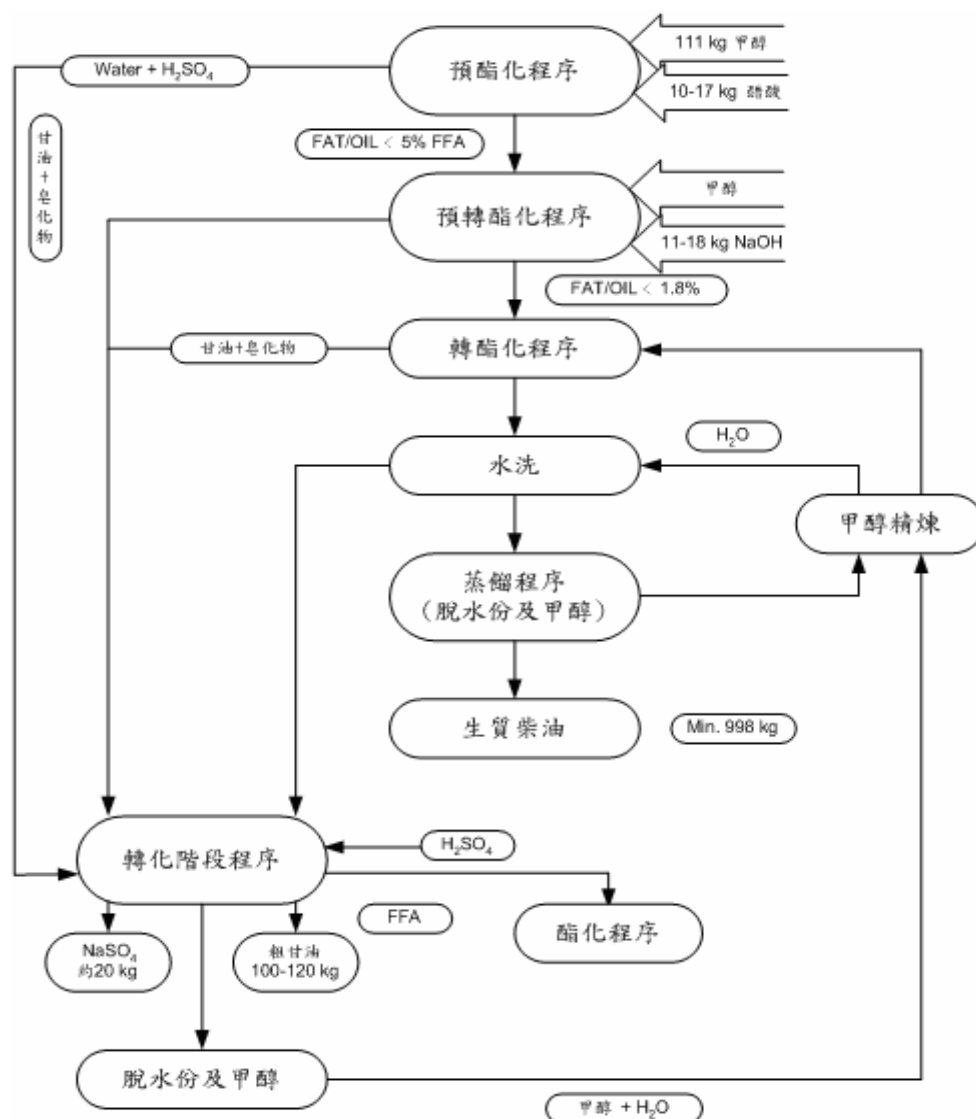


圖 1 生質柴油製程質量平衡圖

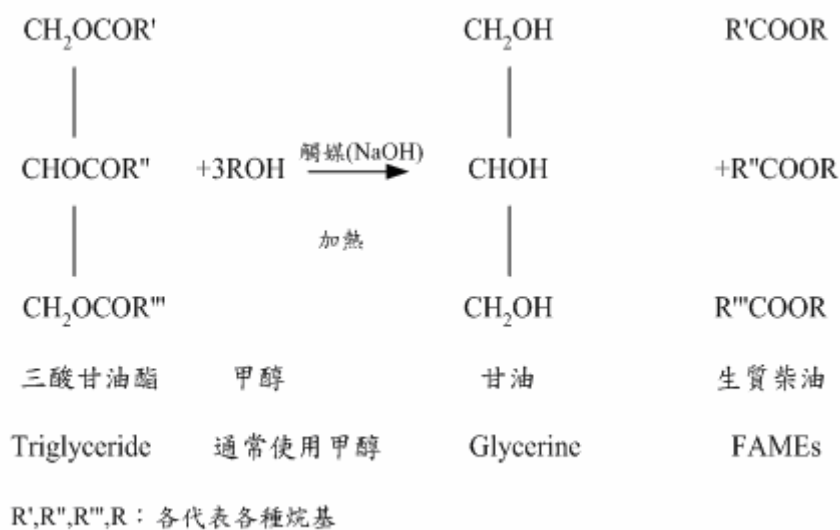


圖 2 生質柴油主要反應式[陳介武，2000]

2.2 熱力生化柴油

1.合成烷化物質(Synthetic alkylation matter)

一般範圍 47%~96%，較佳範圍 47%~94%，最佳範圍 60%~94%。

2.植物油(Plant oil)

一般範圍 3%~95%，較佳範圍 3%~50%，最佳範圍 3%~50%。

3.有機金屬化合物(Organic metallic compound)

金屬濃度之一般範圍 4ppm~100ppm，較佳範圍 15ppm~70ppm，最佳範圍 20ppm~40ppm。

4.保存劑(Preservative)

一般範圍 10ppm~500ppm，較佳範圍 10ppm~100ppm，最佳範圍 50ppm~80ppm。

將以上之成分依序製造流程如下：

(1)1.+2.=a 充分混合。

(2)3.+4.+a=充分混合完成。

2.3 引擎性能與污染特性

藉由 Cummins B5.9 引擎添加市售高級柴油、BD9505、BD8020、BD5050、B100 等五種油品，分別於柴油引擎實驗室進行引擎性能(如：馬力、扭力)、油耗及 US-Transient Cycle 暫態循環重量法污染測試，並評估其改善情形詳，如表 2 [14-15]。

表 2 引擎性能與污染特性表

項目 \ 油品		Diesel	BD9505	BD8020	BD5050	B100
最大輸出馬力 (Kw)		113.0	104.2	104.7	104.9	102.7
最大輸出扭力 (Nm)		517	481	482	487	482
比油耗 (g/bhp.hr)		212.7	212.8	219.0	225.9	244.5
排氣污染	THC (g/bhp.hr)	0.435	0.309	0.355	0.317	0.274
	CO (g/bhp.hr)	2.055	1.530	1.640	1.642	1.822
	NOx (g/bhp.hr)	6.304	5.743	5.777	6.012	6.56
	PM (g/bhp.hr)	0.1324	0.0993	0.1036	0.0997	0.0857
重金屬	Pb (ppm)	—	0.825	1.458	—	0.848
	Cd (ppm)	—	0.075	0.108	—	0.010
	Hg (ppm)	—	0.121	N.D.	—	0.509
	Cr (ppm)	—	0.583	0.733	—	0.522

N.D.：Not Detected

重金屬：本研究係以 PerKin Elmer ICP-OES OPTIMA-2000 感應耦合放射光譜儀檢測重金屬濃度。

三、綠色最佳化設計

為因應歐盟 2006.7.1 實施之電機電子產品零組件中禁用有害物質指令(RoHS: Pb-0.1%, Cd-0.01%, Hg-0.1%, Cr⁺-0.1%, PBB-0.1%, PBDE-0.1%)、2006.12.31 廢電機電子產品之回收與處理指令(WEEE))及 2007.8.11 能源使用產品對環境友善設計指令(Energy Using Products, EuP)[5]。「綠色設計」儼然蔚為新興趨勢，且為急迫需求之領域。綠色設計係企業在消極面符合客戶與國際貿易規範要求、積極面發展創新且兼具「低毒性/污染/風險，省能源，易拆解，減量/可回收/再利用/可

再生(4R：Reduce, Recycle, Reuse, Regenerate)」之新產品。產品從原料選擇、製程、包裝運輸、使用過程至產品生命終了(End of life)後之廢棄處置或回收再利用階段，均應鑑別「產品生命週期」各階段之「重大環境考量面」；並評估各階段之預期能源與資源消耗量、對空氣/水體/土壤之污染物排放量。因噪音/震動/輻射等所造成之污染、廢棄物之產生量，進行資源/能源回收與再利用之可行性；並將之使用作為「綠色設計參數」。EuP 指令鼓勵生產者檢查是否可能在產品之整個生命週期內，將 RoHS 規範之有害物質使用量最小化並使排放量最小，在一般或特定綠色設計要求內亦說明各類產品之回收、再利用與再循環等設計參數，將有助於釐清 WEEE 之相關規定及環境生態說明書(Eco-Profile)之製作。而綠色能源使用產品之設計則需依圖 3~4 進行之[1-7]。

3.1 綠色產品設計即時決策管理系統(Gp-DFSS-DRW3)

本研究整合綠色設計三大面向(G 綠色產品設計-I 生命週期盤查-A 生命週期分析)與六標準差設計五大主軸(D 定義-M 量測-A 分析-D 設計-V 驗證)所需之專用程式及相關參數、管制表單與資訊(即資料庫)，藉由 Visual Basic6.0 整合成交談式功能表單(如表 3)並由 API(Application Programming Interface)負責功能表與 6 σ -DMADV 程式庫與資料庫之介面連結。繼而研發「綠色產品設計即時決策管理系統(Gp-DFSS-DRW3)」(如圖 5)，俾供綠色產品研發及製造主管人員有效管理及決策(Decision)之用[6-7, 16-19]。

表 3 綠色產品設計即時決策管理系統(Gp-DFSS-DRW3)

D	Define	* GpIS-Excel * GpIS-Access * LCI-EcoReport
M	Measure	* Conformity Assessment * DfE Matrix-Material * DfE Matrix- Manufacture * DfE Matrix-Transportation * DfE Matrix-Product Use * DfE Matrix-Disposal
A	Analysis	* LCA-GaBi * LCA-SimaPro * LCA-EcoReport * GpQFD
D	Design	* Gp-3RDR System * Green DfE Matrix * GD-ideation-TRIZ * GD-CREAX-TRIZ * GD-Minitab-Taguchi
V	Verify	* BSC-ARIS-C&E Diagram * BSC-OpenScorecard-PE Diagram * Green Performance Indicators * 1 page EcoProfile Report

* Gp-DFSS-DRW3：綠色產品設計即時決策管理系統

* GpIS：綠色材料盤查系統

* Gp-RFID System：綠色產品無線傳輸辨識系統

* GpQFD：綠色產品品質機能展開

* Gp-3RDR System：綠色產品回收再利用再循環決策回收系統

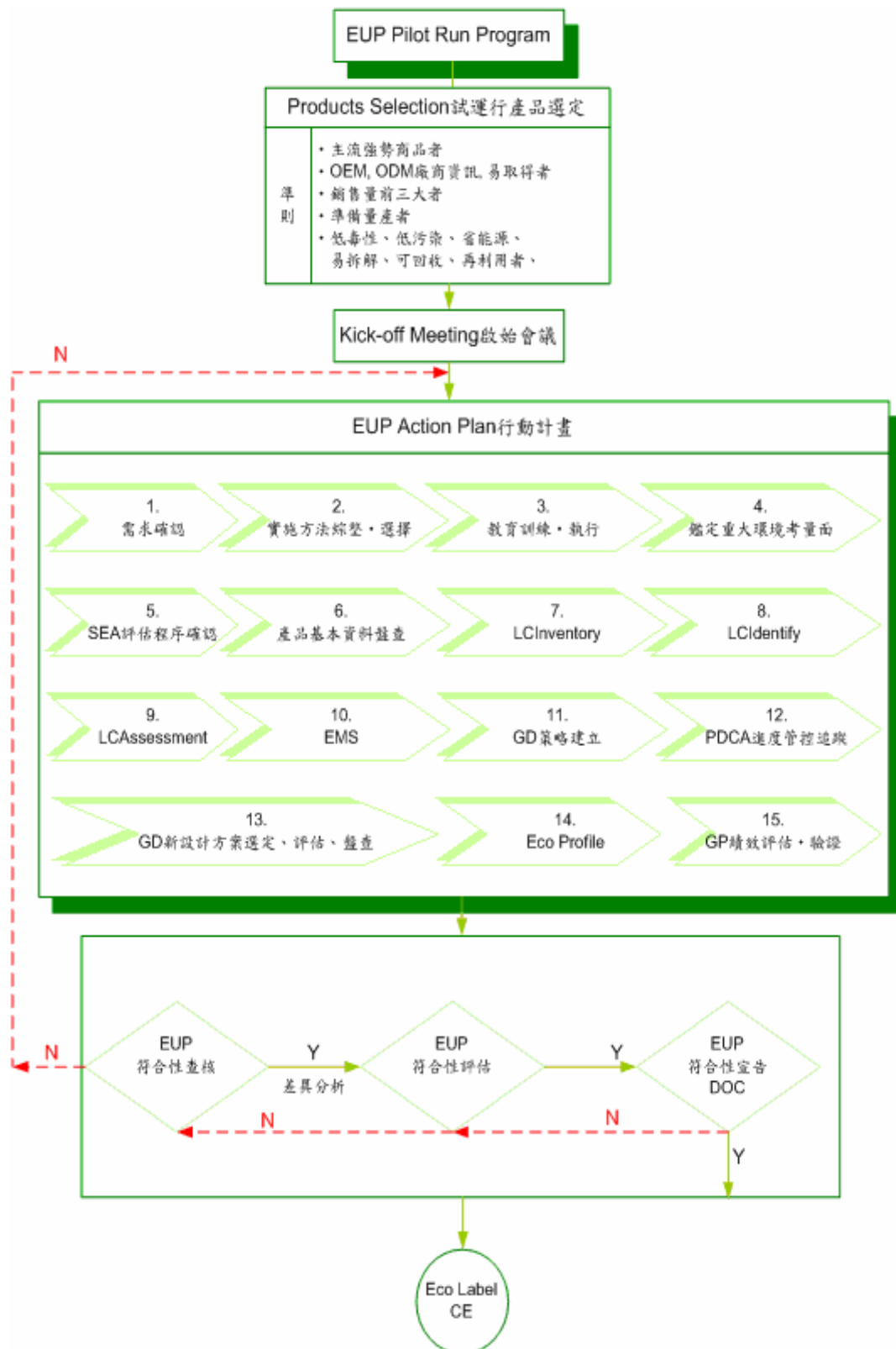


圖 3 綠色能源使用產品 Green EuP 執行流程圖

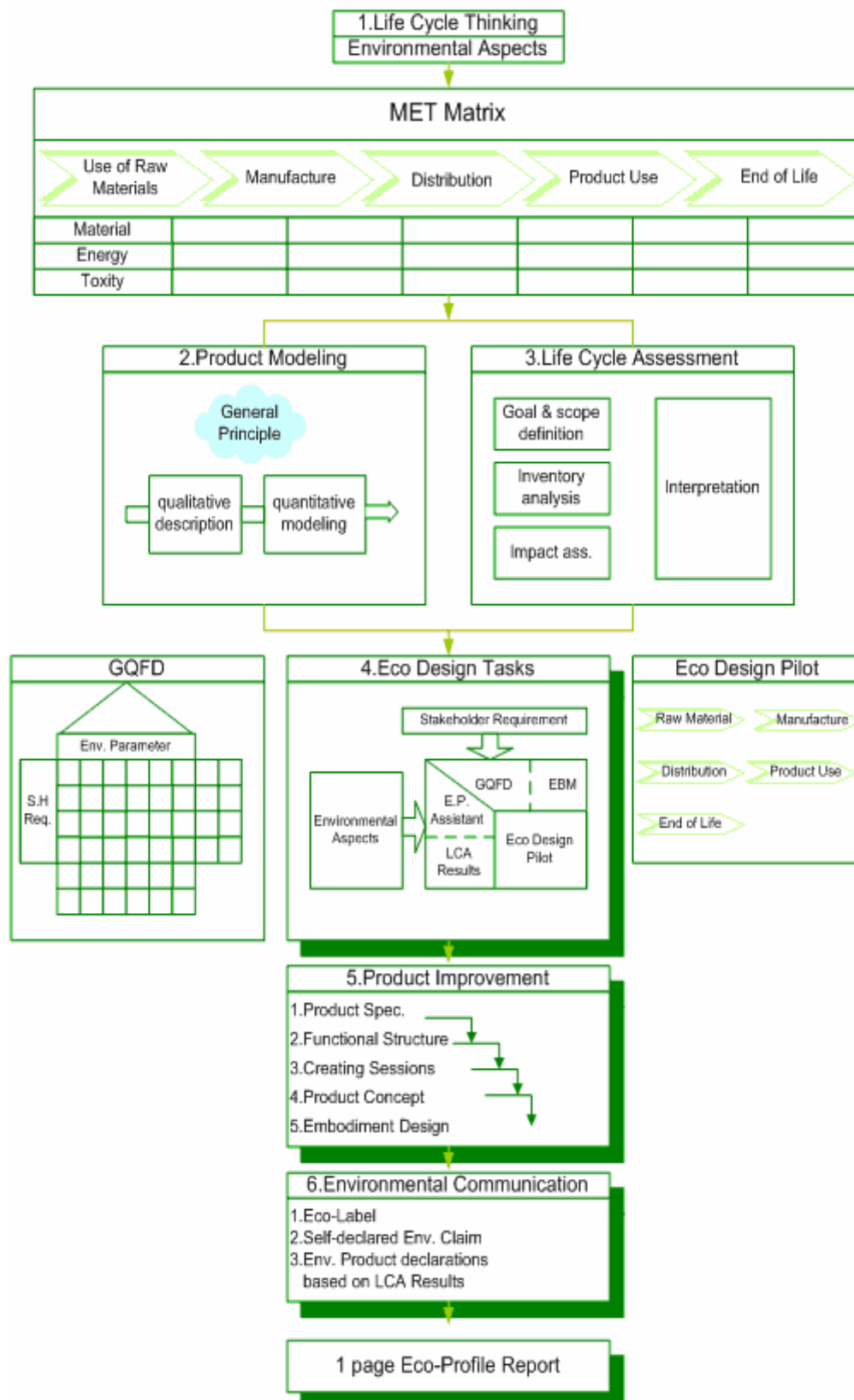


圖 4 Green EuP 綠色設計策略地圖

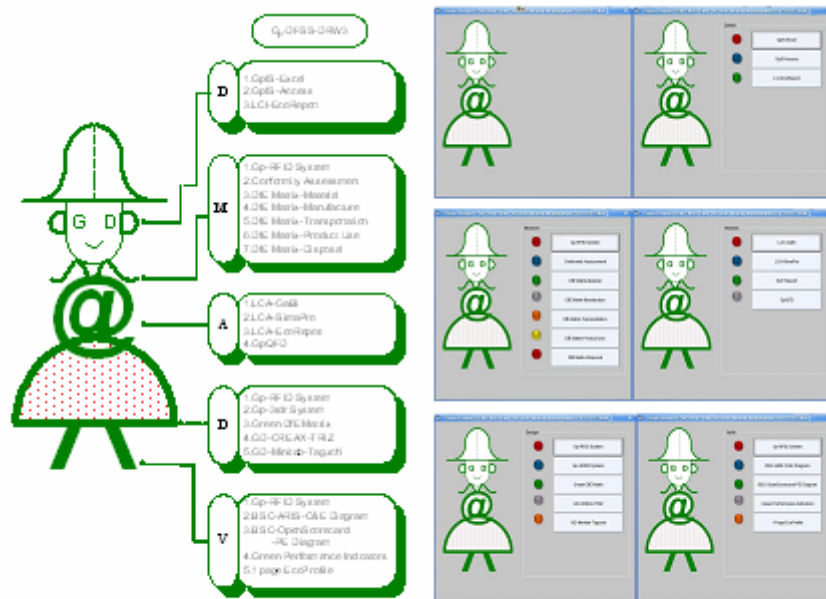


圖 5 綠色產品設計即時決策管理系統(Gp-DFSS-DRW3)

3.2 生命週期評估(D-M-A Stage)

國際標準組織(ISO)於 1996 年 9 月後頒佈 ISO 14001 等相關標準，該標準兼具國際貿易及環境保護之規範，其中 14040 系列即為生命週期評估之相關規範。依據「CNS 14040 環境管理—生命週期評估—原則與架構」規定：生命週期評估係研究產品從原料取得、生產、使用及處置(亦即搖籃至墳墓)整個生命過程中之環境考量面與潛在衝擊。生命週期評估可分為：(1)目標與範疇界定(Goal and Scope Definition)；(2)生命週期盤查分析(Life Cycle Inventory Analysis; LCInA)；(3)生命週期衝擊評估(Life Cycle Impact Assessment; LCImA)與生命週期闡釋(Life Cycle Interpretation; LCIp)，如圖 6 所示。

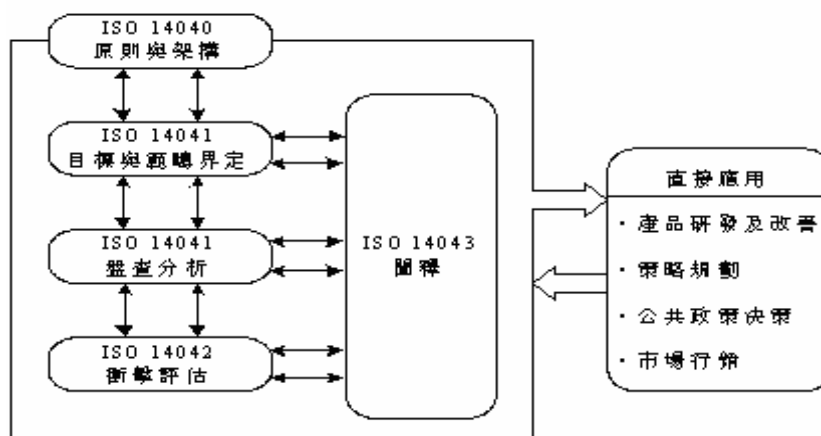


圖 6 ISO 14040 生命週期評估架構與應用

3.2.1 Define-生命週期盤查 (LCIn)

生命週期盤查分析(LCInA)係用以分析任何有關直接或間接與能源與物料使用之活動或操作單元，主要用供瞭解產品整個狀況。其步驟為：(1)樣品細部拆解(表4); (2)樣品查核(表5); (3)綠色設計盤查矩陣(MET Matrix) (表6); (4)以荷蘭VHK之EuP Eco-Report進行生命週期盤查分析並完成盤查評估報告查核及摘要表(表7-8)。

表 4 (○○○○○)樣品拆解細部解析表(BOM)

產品名稱	中文名稱	英文名稱	編碼 BOM	材質/註解	可能對應之毒性物質					
					Pb	Cd	Hg	Cr ⁺⁶	PBB	PBDE

表 5 樣品查核表(清單)(Sample checklist)

Life Stage	分類	查核項目	D/E 策略
1.原料	識別		
	使用量		
	來源		
	回收性		
	危險性		
2.製程	危險性		
	環境污染		
	組裝與拆卸		
	避免意外設計		
	省資源設計		
3.包裝運輸	減量設計		
	可重複使用		
	包裝體積		
	可回收包裝		
	可轉變為其他用途		
4.使用過程	對環境污染		
	延長使用壽命		
	適當之使用		
5.廢棄、回收	廢棄時之污染		
	能源資源回收		

表6 綠色設計盤查矩陣(MET Matrix)

產品生命週期	1.原物料	2.能源	3.固體污染	4.水污染	5.空氣污染	小計
A.產品前置期	(A, 1)	(A, 2)	(A, 3)	(A, 4)	(A, 5)	
B.產品生產製造	(B, 1)	(B, 2)	(B, 3)	(B, 4)	(B, 5)	
C.運輸配銷包裝	(C, 1)	(C, 2)	(C, 3)	(C, 4)	(C, 5)	
D.產品使用、維護	(D, 1)	(D, 2)	(D, 3)	(D, 4)	(D, 5)	
E.產品生命終期棄置	(E, 1)	(E, 2)	(E, 3)	(E, 4)	(E, 5)	
小計						

表7 生命週期評估報告查核表表

LCA check Item	YES	NO
1. Goal Definition / Scoping		
2. Inventory Analysis		
3. Impact Assessment		
4. Analysis, Interpretation, Conclusion		
5. Summary Report		
6. Peer Review		
7. Practitioner qualifications		
8. Terminology		

表8 生命週期評估摘要表

1.Product System Examined	
2.Methodology	
2.1Goal/Scope:	2.2Boundaries
	2.3Specific Exclusions:
2.4Energy	2.5Functional Unit:
2.6Impact Assessment	
3.Results	
4.Conclusion	
5.Reference	

3.2.2 Measure-生質柴油禁限物質(BS)特性

本研究特以 BD9505，BD8020，B100，B20 生質柴油樣品，依據 EPA3052 微波消化法進行樣品前處理，復以 PerKin-Elmer ICP-OES OPTIMA-2000 感應藕合放射光譜儀進行 Pb(鉛)、Cd(鎘)、Hg(汞)與 Cr(鉻)之毒性檢測，測值濃度(表 9)均符合歐盟 RoHS 之規定。

表 9 生質柴油禁限物質濃度

單位：ppm

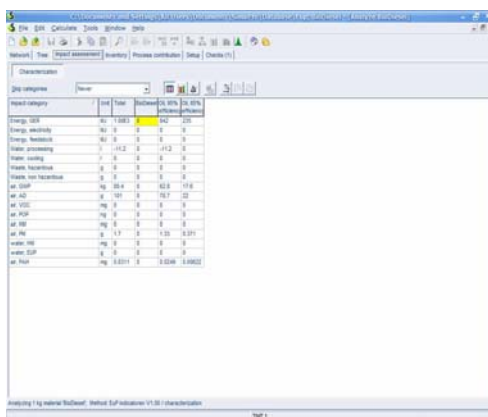
BD NO. BD	BD9505	BD8020	B100	B20	RoHS Standard
Pb	0.825	1.458	0.848	1.488	1000
Cd	0.075	0.108	0.010	0.070	100
Hg	0.121	N.D.	0.509	N.D.	100
Cr	0.583	0.733	0.522	0.629	100

3.2.3 Analysis-生命週期分析+生命週期衝擊評估(LCA + ICImA)

藉由生命週期分析軟體 SimaPro7.0 進行生命週期分析與原料、製程、包裝運輸、使用過程及廢棄與回收之生命週期衝擊評估(圖 7)[4-7]。

3.2.4 Design-綠色設計

整合生命週期五大面向：原料、製程、包裝運輸、使用過程及廢棄與回收之衝擊評估分析評估結果於產品設計/製程中，檢討與評估「關鍵失效真因(KFI)」、「風險評分(RS)」、及「綠色績效指標(Green Performance Indicator-GPI)」，復賦予適當矯正措施改正之。經確認關鍵失效因子及「綠色績效指標」對產品服務品質之影響或產品因雜音因子(Noise Factor; N/F)影響，而導致品質特性值(y)之生命週期因產品、環境、時間變異，而造成 y 偏離 y_m (i.e. didn't meet product specification) 之品質損失，需以實驗設計(DOE)或田口品質工程(Taguchi Quality Engineering)法，找出非常顯著(F**)要因。並將其偏離目標值之函數關係以二次或品質損失函數評估品質特性質偏離目標值所造成之損失，進行品質損失函數(QLF)之建置與綠色產品設計，其型式有四：(1)Nominal-The- Best (NTB); (2)Larger- The- Best (LTB); (3)Smaller- The- Best (STB); (4)Non- Symmetry- Nominal- The- Best (NS-NTB)。復依 TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving; TIPS)理論之 40 項創新發明原則(TRIZ 40 Principles)對應 39×39 階工程參數矩陣組合 ($P_{\text{Improving}} \times P_{\text{Avoiding Degeneration}}$) (即衝突表; 表 10)與系統工具(CREAX, ideation)、76 標準解(Standard Solutions) 及質場分析(Su-Field Analysis)進行綠色產品設計與開發，解決工程矛盾與技術衝突及提昇創新發明之品質與效率[8-10, 16, 19-23]。



3.2.5 Verify-綠色驗證

前經 Taguchi(DOE, R/D)方法將功能績效(functional performance)設計最佳化，本單元則依表 11. Pugh 方案選擇矩陣及生命週期評估摘要，依層級結構分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)評選最佳方案，復「驗證」參數設計與公差設計確能達成「理想機能(Ideal Function)」。

表 10 Altschuller 衝突（矩陣）表

②惡化參數 ①改善參數		1.	2.	3.		10.		39.
1.								
2.								
3.								
.....								
39.								

③：發明原則（#1, 27, 28, 29）

表 11. Pugh Alternative Chosen Matrix

Criterion \ Alt.	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4	Alt. 5		Alt. n
Cri. 1	S	+	-	-	-		S
Cri. 2	S	-	-	+	-		+
Cri. 3	-	S	-	-	-		-
.....							
Cri. n	S	+	S	+	+		+
+	0	2	0	2	1		2
-	1	1	3	2	3		1

* S : Similar (○) ; + : Better ; - : Worse

** : enhanced top 3~4 alternatives (+Concepts)

*** : attack the other weak alternatives.

四、層級結構分析法

層級結構分析法(AHP)係將決策問題分層架構成不同層級予以分析，以供決策者作決策之用。AHP 將複雜問題分成四個層級(Level)：(1)目標(Goal)：層級 I，擬欲決策之複雜問題；(2)標的(Objective)：層級 II，達到目標之方法；(3)準則(Criteria)：層級 III，評估標的之項目；(4)方案(Alternative)：層級 IV，解決問題之方法；其執行方程式如下[20]：

1. 成對比較(Pairwise Comparison)

藉由相對重要性之問卷調查建立成對比較矩陣(A)。

$$A = (a_{ij})$$

$$a_{ij} = \frac{W_i}{W_j} (i, j = 1, 2, 3, \dots, n)$$

其中 W：成對比較矩陣中各元素(activities)權重(weight)

n：成對比較矩陣中之元素數量

2.不同層級之權重

藉由下述公式求解最大特徵值($\lambda_{\max}$)以為不同層級之權重。

$$AW = \lambda_{\max} W$$
$$W_i = \frac{1}{\lambda_{\max}} \sum_{j=1}^n a_{ij} W_j$$

3.一致性檢定(Consistency Test)

一致性指標(Consistency Index ; C.I.)值愈低則一致性愈高。

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

(1) $C.I. \leq 0.1$ -----具一致性，可接受程度高。

(2) $C.I. > 0.1$ -----非一致性，需重組評估準則。

4.優勢檢定(Priority Test ; Pi)

藉由評估準則之權重決定各方案被選定之優先順序。

4.1 方案選擇

方案之選定需經由層級結構分析(Alytic Hierarchy Process, AHP)，以判定最適方案(Optimal alternative)。選擇綠色生質柴油最佳組合層級結構圖，如圖 8。其主要標的(Goal)為選定柴油引擎用綠色生質柴油，而目標 (Objective)則有三：(1)技術性；(2)經濟性；(3)社會、政治性。準則(Criteria)則因標的之不同而異。詳如下：

(1)技術性(TECH)之評估準則：

- a.柴油車排放標準之可及性(QUALIFY)
- b.生質柴油組合之代表性及滿意程度(SATISFY)
- c.生質柴油產製之技術可及性(FEASIBILITY)

(2)經濟性(ECONOMY) 之評估準則：

- a.銷售效益、成本(COSTBENEFIT)
- b.外部(油耗、污染、社會)成本(EXT. COST)
- c.油品市場之影響程度(IMPACT)

(3)社會、政治性(SOCPOL)之評估準則：

- a.政府機關滿意程度(GOV. SAT)
- b.車輛業者之接受程度(MFG. ACC)
- c.對國際貿易之競爭及影響程度(COMPETE)

方案則規劃有三：(1)方案 I:BD 9505；(2)方案 II:BD 8020；(3)方案 III:BD 5050。

本研究係以 EXPERT CHOICE 2000 依所設計之 GOAL，OBJECTIVE，CRITERIA，ALTERNATIVES & QUESTIONARE，進行各層級(LEVEL)間之 PRIORITIES、IMPORTANCE PAIRWISE COMPARISON ANALYSIS 及 INCONSISTENCY RATIO 檢定與方案選擇。幾經多次 CRITERIA & IMPORTANCE(i.e. WEIGHT)之修正，結果如表 11-14。INCONSISTENCY RATIO(ICR)均小於 0.1，足証本研究所設計之標的(OBJECTIVE)準則(CRITERIA)均可接受(Acceptable)且有意義。並於表 13-14 中得知：「方案 II」基於合格車之可及性面向、成本效益面向及政府機關滿意面向上，以總權重 1.000 及排序權重 0.712，評選為最佳方案。

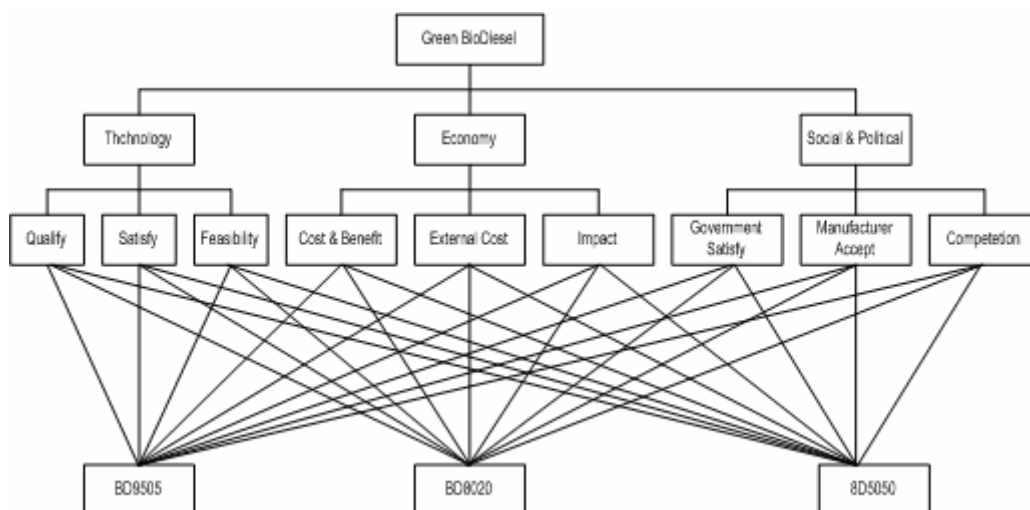


圖 8 綠色生質柴油最佳組合層級結構圖

表 12 “標的一目標”之一致性與優勢檢定表

PRI. & ICR.	PRIORITIES	INCONSISTENCY RATIO
OBJECTIVE		
TECH	0.758	0.100
ECONOMY	0.184	
SOCPOL	0.058	

表 13 “準則一標的” 一致性與優勢檢定表

PRI. & ICR	PRIORITIES	INCONSISTENCY RATIO
OBJ. CRITERIA		
TECH	QUALIFY	0.709
	SATISFY	0.179
	FEASIBILITY	0.113
ECONOMY	COSTBENEFIT	0.731
	EXT.COST	0.081
	IMPACT	0.188
SOCPOL	GOV. SAT	0.709
	MFG. ACC	0.179
	COMPETE	0.113

表 14 各方案之優勢權重表

	TECH	ECONOMY	SOCPOL	Total	PRTY
Alternatives	0.7580	0.1840	0.0580		
I.BD 9505	0.1233	0.0395	0.0112	0.174	0.124
II.BD 8020	0.7766	0.1530	0.0704	1.000	0.712
III.BD 5050	0.1957	0.0170	0.0177	0.230	0.164

五、結論

1970 年代全球石油危機，工業國家對石油之依賴度與日遽增。每年龐大石化燃料消耗，造成全球環境、氣候變遷與溫室效應。替代能源乃因應而生，再生能源(如：太陽能、地熱、替代燃料)之研發已為所亟需。其中以植物油脂為原料，產製之生質柴油(Biodiesel)，儼然蔚為趨勢，且有替代傳統柴油之能量。各國為因應日益嚴重之空氣污染與能源節約問題，已訂定逐年加嚴之交通工具排放管制標準與油品規範。

為此，「綠色產品(Green Product)」已全方為主導新世紀車輛與新能源之設計開發(Design & Development)導向。又歐盟廢電機電子設備禁用毒性物質指令(RoHS)、廢電機電子產品回收指令(WEEE)、包裝及廢棄物包裝指令(PPw)及能源使用產品環保設計指令(EuP)相繼於 2006.7.1、2006.12.31、2008.12.31、2007.8.11 生效，相關之產品需以「生命週期思維」(life cycle thinking)進行產品設計。本研究係以生質柴油為環境化(綠色)設計之主軸，整合本研究開發之綠色產品設計即時決策管理系統(Gp-DFSS-DRW3)及綠色設計四大面向：(1)綠色產品設計流程；(2)生命週期盤查；(3)生命週期分析；(4)生命週期衝擊評估，並導入 TRIZ 衝突理論、Taguchi 穩健設計法與層級結構分析法(AHP)，進行生質柴油最佳化組合之研發設計。「方案 II：BD 8020」基於合格車之可及性面向、成本效益面向及政府機關滿意面向上，以總權重 1.000 及排序權重 0.712，評選為最佳方案。最佳化之生質柴油與柴油組合，將可有效解決移動污染源對溫室氣體減量效益、提早符合交通工具空氣污染物排放管制標準與能源多元化之目標。

參考文獻

1. 吳贊鐸，電子化六標準差即時決策管理系統建立之研究，中華民國第八屆全國品質管理研討會，中華民國品質協會，pp.958-972，91 年 11 月。
2. 吳贊鐸，薄膜隔熱材料原子力顯微鏡與奈米壓痕試驗機失效模式效應分析之研究，中華民國第五屆可靠度與維護度技術研討會，pp.324-344，92 年 10 月。
3. 吳贊鐸，林華宇，六標準差綠色設計即時決策管理系統，二〇〇五年永續性產品與產業管理研討會，台灣產業服務基金會，94 年 3 月。
4. 吳贊鐸，張彥文，綠色產品設計與績效評估模式建立之研究，二〇〇五年工研院創新與科技管理研討會，財團法人工業技術研究院，94 年 9 月。
5. 吳贊鐸，汪俊宏，柯禹伸，黃松波，林建萍，張彥文，綠色設計管理智庫，二〇〇五清潔生產暨永續發展研討會。台灣產業服務基金會，94 年 11 月。
6. 吳贊鐸，黃松坡，張彥文，汪俊宏，柯禹伸，林忠逸，鍾明雄，整合型綠色產品生命週期績效評估與無線通訊傳輸辨識系統，2006 年環境規劃學術研討會第四屆資源與環境管理學術研討會，立德管理學院-環境學群，C-48-59 頁，95 年 5 月。
7. 吳贊鐸，鍾明雄，蔡馥羽，柯禹伸，張彥文，廖文蘭，林忠逸，綠色淨水器無線通訊傳輸辨識系統，二〇〇六清潔生產暨永續發展研討會，台灣產業服務基金會，A-20-1-11 頁，95 年 11 月。
8. 吳贊鐸，質場問題解決心智系統開發，2006 中華萃思(TRIZ)學會第一屆學術暨實務研討會，95 年 11 月。
9. 吳贊鐸，e6 σ -GD76Ss 綠色設計即時決策管理系統，2006 中華萃思(TRIZ)學會第一屆學術暨實務研討會，95 年 11 月。
10. 吳贊鐸，綠色質場分析，2006 中華萃思(TRIZ)學會第一屆學術暨實務研討會，95 年 11 月。
11. 吳贊鐸，綠色專案風險管理，2007 年「生命週期評估與管理」研討會，96 年 1 月。
12. 經濟部工業局，綠色設計，107 頁，1995。
13. 中華民國工業協進會，綠色設計暨管理實戰班講義，勞委會職訓局，2004。

14. 鄭清山, 烷化生質柴油對柴油引擎影響之研究, 國立高雄第一科技大學環境與安全衛生工程所碩士論文, 2002。
15. 高雄市環保局, 移動污染源替代燃料試驗暨以生質柴油替代燃料進行垃圾車實車測試計畫結案報告, 2004。
16. Tzann-Dwo Wu, *The Study of problem solving by TRIZ and Taguchi methodology in automobile muffler designation*, TRIZ Journal, 2004.
17. Tzann-Dwo Wu, *Six Sigma real-time decision making management System for integrating production, D&D, marketing, and finance management in Taiwan*, The 8th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, pp.439-446, 2004.
18. Tzann-Dwo Wu, *Resource Integration System for Six Sigma Green Design in RoHS, WEEE, EUP, PPw Directives*, Taiwan CP Vol.1, No.2, 2005.
19. Peter S. Pande, etc., *The Six Sigma Way: how GE, Motorola, and other top Companies honing their performances*, Mc Graw – Hill Companies, Inc., 2001.
20. Tzann-Dwo Wu, *The Study of Characteristics Analysis for Engine Performance, PAHs and Exhaust Emissions by Using Alternative Fuels in Gasoline & Diesel - Powered Engine*, Doctoral Dissertation of Institute of Naval Architecture and Ocean Engineering, National Taiwan University, 1999.
21. ISO9001:2000/14001,14041~3 *Quality, Environment and Life Cycle Management System*.
22. C. F. Jeff Wu and Michel Hamada, *Experiments Planning, Analysis, and Parameter Design Optimization*, John Wiley & Sons, Inc., pp. 1-17, 2000.
23. SONY, *Management Regulations for the Environment-related Substances to be controlled which are included in Parts & Materials*, SS-00259-SONY, 2004.

丙烷燃震反應特性之數值研究

A Numerical Study on Reaction Characteristics of Propane Detonation

李進興¹ 劉軒誠² 陳維新³ 陳信伯⁴ 翁凌家⁵
J.S.Lee¹, H.C. Liu², W.H. Chen³, L.C. Weng⁴, H.P. Chen⁵

1 中山科學研究院 化學研究所

1 Chemical Systems Research Division, Chung-Shan Institute of Science and Technology

2 輔英科技大學 環境工程與科學系

2 Department of Environmental Engineering and Science, Fooyin University

3 國立台灣海洋大學 輪機工程學系

3 Department of Marine Engineering, National Taiwan Ocean University

4 國立成功大學 育成中心

4 Business Incubation Center, National Cheng Kung University

5 工業研究院 能源與環境研究所

5 Energy and Environment Research Laboratories, Industrial Technology Research Institute

摘要

本研究旨在於以 CEC 模擬軟體探討脈衝燃震引擎內丙烷之反應特性。針對計算所得之化學平衡結果顯示，燃震引擎內初始壓力值越高，丙烷燃震後壓力也隨之增高，但初始壓力值的變化對於壓縮比分佈的影響不大。最佳的反應條件約發生在燃料與空氣混合比為 1 比 4，即 equivalence ratio (ϕ) 為 1.25。燃震發生後，平衡溫度主要分布於 1200~2900 K 左右，且以最佳的反應條件為中心，隨 ϕ 值的增加或減少而急速下降。若 ϕ 值固定，產生的燃震音速約在 788 m/sec~1040 m/sec 之間，但燃震引擎內初始壓力的增加對燃震溫度及燃震音速的影響不大。最高燃震速度發生在 ϕ 為 1.25，初始壓力為 5 atm 時，此時燃震速度為 1855.6 m/sec。因此數據顯示如能在微富燃料狀態下產生燃震，可得到較好燃震現象，其可作為燃震引擎內設計之參考。

關鍵詞：脈衝燃震引擎、壓力、壓縮比

Abstract

The reaction characteristics of propane in a pulse detonation engine (PDE) are investigated numerically using the CEC (chemical equilibrium compositions) code. The simulated results in accordance with the detonation of propane suggest that the higher is the initial pressure, the higher is the detonation pressure. But the effect of varying initial pressure on the compression ratio is slight. The best reaction occurs at around the equivalence ratio (ϕ) of 1.25. The equilibrium temperature after detonation ranges from 1200 to 2900 K and it decays significantly from the condition of the best reaction with increasing or decreasing ϕ . With the condition of fixed ϕ , the sonic speed after detonation is in the range of 788 m/sec~1040 m/sec, but the influence of the initial pressure on the temperature and sonic speed is unimportant. The highest detonation speed takes place at $\phi=1.25$ and the initial pressure of 5 atm where the detonation speed is 1855.6 m/sec. Accordingly, it is realized that one can obtain a better detonation result if the engine is

controlled at the slight fuel-rich situation, and the obtained results can provide a useful insight into the design of pulse detonation engine.

Key Words: pulse detonation engine, pressure, compression ratio

一、前言

1930 年代末期，德國人發展出了 V-1 脈衝火箭後，開創了間歇性燃燒設備成為第一個攻擊性推進系統，該系統較傳統推進提供更高的推力。此脈衝火箭利用了半等容燃燒方式，雖然其燃燒過程依然視為爆燃（deflagration）模式，但其所獲得的有效能量還是較穩流過程為高。基於間歇性引擎有此種優勢，超音速燃燒，像是已知的燃震（detonation），便逐漸成為高推力系統的重要研究課題。

第一位從事週期性超音速燃爆現象研究之先進首推 1940 年代之 Hoffmann[1]。實驗設備為一細長小口徑之鋁合金管件，內部填充乙炔氧和氧化苯之混合燃料進行實驗，並安裝於測試台架上。點火系統部分選用火星塞。Nicholls[2]是 1960 年代另一位對於間歇式之燃爆引擎實驗有所成果的先進，其實驗設備為 6 呎長、內徑 1 英吋的超音速燃燒測試管，燃料及氧化劑之混合反應物包括氫氣與氧氣、氫氣與空氣、乙炔與氧氣、乙炔與空氣四種組合，燃料及氧化劑注入位置均在測試管左端的封閉端。Krzycki[3]的實驗設備與 Nicholls 幾乎相同，但混合反應物為丙烷及空氣，使用以汽車引擎火星塞產生火花的點火系統，最大釋放頻率可達 60Hz、此頻率釋放能量為 0.65 焦耳。由於釋放能量的限制，無法產生所謂的直接點火超音速燃燒現象，取而代之的現象為由次音速燃燒波轉變為超音速燃燒波的 DDT（deflagration-to-detonation transition）現象，但結果顯示效率很差，幾乎無法產生推力。Matsui 和 Lee[4]根據實驗結果及理論並利用數值模擬之方式進一步探討點火能量之釋放大小所產生之現象，當釋放能量達到 10^6 焦耳時，丙烷與空氣之混合物才可能產生了直接點火超音速燃震（directly detonation）現象。

有鑑於 60-70 年代對超音速燃燒系統研究的問題，逐漸歸納出超音速燃燒波的產生方式大致上分為以下三種[1-9]：震波引發、直接點火及由次音速燃燒火焰轉換至超音速燃燒波的間接點火(DDT)。其中以直接點火的方式產生超音速燃燒波較符合脈衝燃震引擎的觀念及設計，然而當氧化劑為空氣時，產生直接點火超音速燃爆（detonation）的點火能量相當高，對於當時的技術和設備而言，似乎是不太可能達成。因此，取而代之便是前述曾提及的以較小能量點火系統產生超音速燃燒波的間接方式：由次音速燃燒波轉變為超音速燃燒波。

最近幾年基於眾多的研究發現利用超音速燃燒所產生的推進系統，稱為脈衝燃震引擎（pulse detonation engine, PDE），該引擎利用燃震系統所產生之推力於熱循環過程為等容燃燒之 Humphrey cycle，其效率優於傳統引擎之熱循環過程為等壓力燃燒之 Brayton cycle，且因其構造簡單，所需製造及維修費用會較少。且燃震引擎提供了較高的潛在性能，因為迅速的燃震過程為等容燃燒且產生高壓縮比（17~35：以空氣與丙烷為混合物）。將會遠比傳統的渦輪引擎大，若是可以詳加研究可運用地方將不單單只有取代航空器的動力部份，亦可以運用來取代需要用到推力的東西，如電動/氣動手工具、發電機組等。換言之，若能將善加利用燃燒所產生之高壓燃震力，其可運用之範圍將是非常寬廣。

二、研究方法

本研究主旨在於探討脈衝燃震引擎之反應特性，為達此目的，我們將利用 CEC（chemical equilibrium compositions）模擬軟體[10]，藉由初始燃料與空氣混合比的

變化，從熱力學觀點研究燃震反應發生前及發生後，燃燒室內的燃震壓力、燃震溫度、音速、壓縮比、溫度比與燃震速度之變化情形。CEC 模擬計算軟體在 NASA 已受到廣泛的應用，其特點在於計算複雜的混合物的化學平衡作用和特性，並且可應用包括分子的熱力學狀態、理論的火箭性能和給予的燃燒室參數所反映出的震動。該軟體也有著超過 1900 種類，包含在熱力學的數據庫，所以對於簡單的燃燒室構造來說，可以讓我們簡單迅速的利用它，計算複雜化學燃料的平衡反應、火焰溫度和熱力學及傳送性能的燃燒產物，所得結果將可作為火箭脈衝燃震引擎推進系統設計之參考，進而降低設計成本與快速建構出設計需要的參數。

運用 CEC 模擬計算軟體（CEC76 版）須以一初始條件檔案作為該軟體讀入，以便進行各項平衡之模擬。初始條件的提供必須宣告混合物之組成，包括燃料、氧化劑之化學分子式與其相互之莫爾比（或重量比），所欲分析的狀態、如在壓力與溫度條件下該混和物之物理化學特性、混和物為火箭推進劑之發射前後特性，或是本研究著重之燃震狀態初始與燃後關係。有鑑於此，本次模擬中所需要的初始燃料、氧化劑、壓力、溫度等等，皆須先行假設出參數以提供電腦進行運算。所以在參數的設定亦需考慮主要的數值，其中燃料的部份將採丙烷（ C_3H_8 ）為燃料，並使用一般空氣作為混合的氧化劑，在摒除空氣成份中其它少量的氣體及懸浮微粒等，我們只取用其中的氮氣和氧氣，其分別所佔空氣總體積的百分比為 78.08%和 20.95%。至於主要的反應參數，我們將變化燃料與空氣的比值及燃燒室內的初始壓力，其範圍為 1 比 10 到 5 比 1，初始壓力為 1 到 10atm，而初始混合溫度為固定為 298K，進行不同反應結果之研究。

三、結果與討論

研究中給予丙烷、氧氣、氮氣三種氣體做為燃料/氧化劑混和物。一般而言燃空比是影響完全燃燒與否的重要因素之一，因此才有所謂的理論混合比。在本研究中理論混合比是指氧氣與丙烷混合的比例：



約 5:1，在這個比例（工作溫度與機件正常情況下），丙烷與氧氣理論上將完全轉化為二氧化碳與水。故以理論丙烷/氧氣混合比 1：5 做為中心值，利用不同的混合比如 1：1、1：2、1：3、1：4、1：5、1：6、1：7、1：8、1：及 1：10 等比值，來進行不同的模擬以找出最有效率燃震的比值。基於分析與比對之方便，在模擬中將以 equivalence ratio (ϕ) [11]作為主要表示參數。物理意義上，當 $\phi > 1$ 時代表著富燃料（fuel rich）情況；反之， $\phi < 1$ 則代表著貧燃料（fuel lean）情況。本處控制之丙烷/氧氣混合比及 equivalence ratio 之關係如表 1 所示。

表 1、探討之丙烷/氧氣混合比及 equivalence ratio (ϕ)

莫爾數	C_3H_8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	O_2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	N_2	3.76	7.52	11.28	15.04	18.80	22.56	26.32	30.08	33.84	37.60
ϕ	—	5.00	2.50	1.67	1.25	1.00	0.83	0.71	0.63	0.56	0.50

莫爾分率 (%)	C ₃ H ₈	17.36	9.51	6.54	4.99	4.03	3.38	2.91	2.56	2.28	2.06
	O ₂	17.36	19.01	19.63	19.96	20.16	20.30	20.40	20.47	20.53	20.58
	N ₂	65.28	71.48	73.82	75.05	75.81	76.32	76.69	76.97	77.19	77.37

在前述條件下，計算結果主要有壓縮比、燃震壓力，溫度比、燃震溫度，音速及燃震速度等參數，以下將對於這幾個數據進行探討。

3.1. 壓縮比

壓縮比的意義乃指引燃混合物前後之壓力比(燃震壓力/初始壓力)。圖 1 即以 ϕ 為橫軸，以壓縮比為縱軸，描繪出不同初始壓力對混合物反應之影響。基本上其所呈現出來的圖形是一個近似高斯分佈樣式的曲線，兩側曲線逐漸向上揚起，慢慢在 ϕ 約 1.25 時趨向其最高點 ($P_2/P_1=18.9-19.6$ ，由初始壓力而定)。以本研究所用之丙烷與空氣的混合物，其壓縮比範圍約在 11.5-19.6 之間，而且圖 1 顯示當混合物屬貧油範圍 (即 $\phi < 1$) 顯現出壓縮比對 equivalence ratio 極為敏感的現象，反之，在富油範圍內，特別當 $\phi > 3$ 時，equivalence ratio 對壓縮比的影響較不明顯。此外，不同的初始壓力 (P_1) 對壓縮比的影響亦不明顯，同一 equivalence ratio 而言，增加初始壓力對增加壓縮比的助益並不大。以 $\phi=1.25$ 而言，初始壓力由 1 atm 增到 5 atm，其壓縮比僅增加不到 1%；以 $\phi=5$ 而言，初始壓力由 1 atm 增到 5 atm，其壓縮比僅增加不到 3.4%。

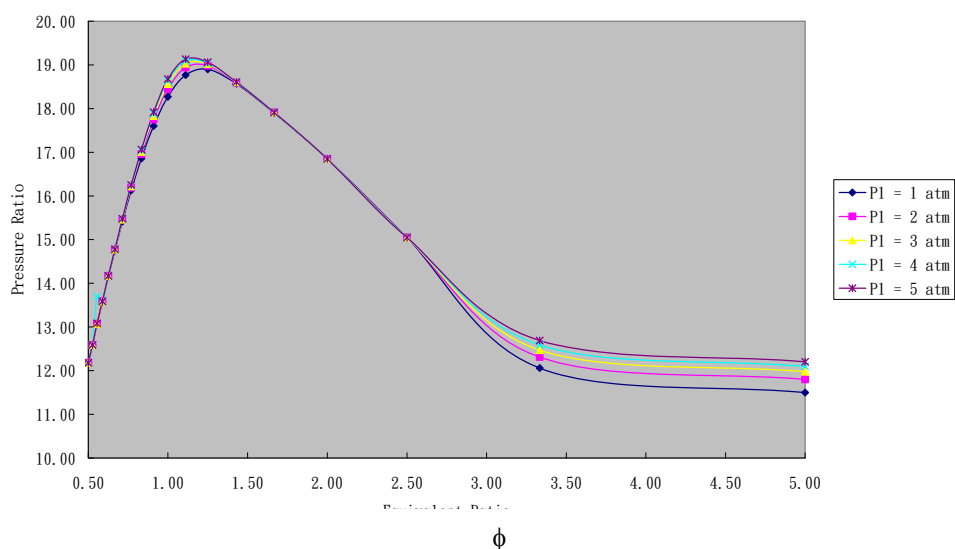


圖 1 壓縮比與 ϕ 分布

3.2. 燃震壓力

雖然初始壓力大小在壓縮比的協助上並不明顯，然而因為其初始的壓力增加，其對混合物引爆後，燃震波產生的壓力可有加成的影響。圖 2 及圖 3 分別代表不同初始壓力與不同 equivalence ratio 對燃震壓力的影響。圖 2 以初始壓力為橫軸，以燃震壓力為縱軸，顯示在不同混合物 equivalence ratio 下 (圖中以 f 表示)，燃震壓力與初始壓力成線性正比關係。以初始壓力 1 atm 之混合物 ($\phi=1.0$) 為例，該混合物經引爆後，其壓力將達到 18.3 大氣壓。但當初始壓力為 2 atm 時，其燃震壓力可達 36.9

atm。且圖 2 中顯示當 equivalence ratio 等於 1.11 ($\phi=1.11$)時直線斜率最大，也就是當初始壓力增加後，所提升的燃震壓力值最大。圖 3 則以 equivalence ratio 為橫軸，以燃震壓力作為縱軸。此圖之結果與圖 1 彼此對照，無論初始壓力為 1、2、3、4 或是 5 大氣壓，最大之燃震壓力均發生在 equivalence ratio 1 至 1.5 之間。以初始壓力為 1 atm 之混合物為例，其主要壓力分布於 11.5~18.9 atm 之間，同時當 equivalence ratio 越靠近 1-1.5 時，其壓力上升量更多。另外，當燃震管管內燃料初始壓力上升時，其產生燃震波的壓力也同時提高。

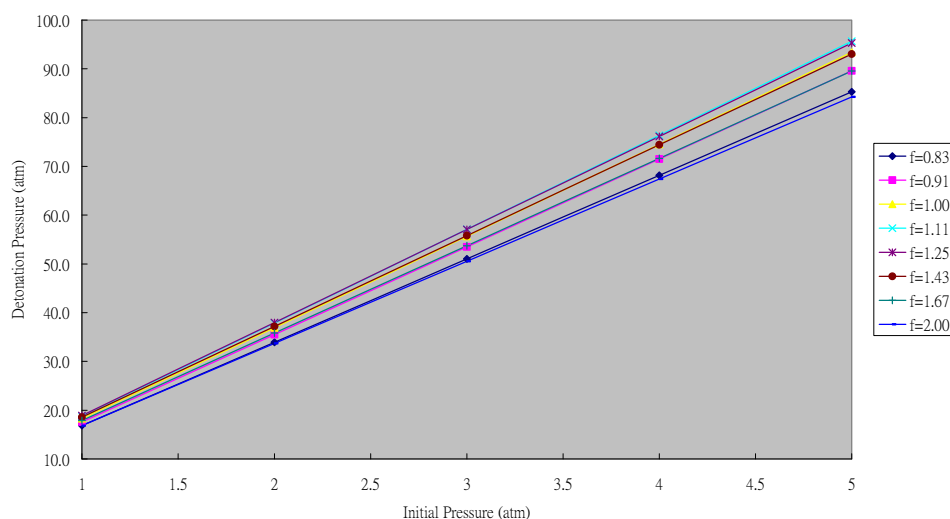


圖 2 燃震壓力與初始壓力分布

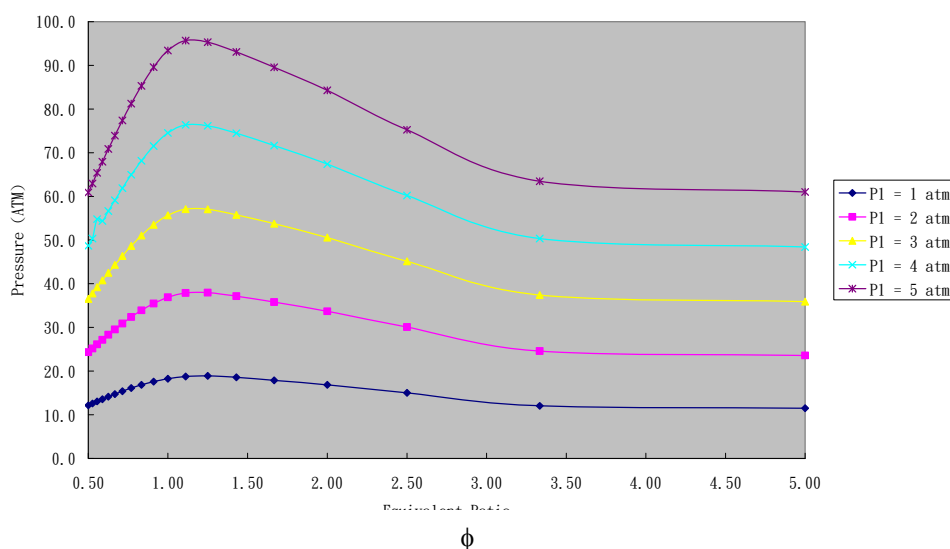


圖 3 燃震壓力與 ϕ 分布

3.3. 溫度比

圖 4 所呈現出來的圖形中，以 equivalence ratio 作為橫軸，溫度比為縱軸，圖 4 與壓縮比（圖 1）類似，所呈現出來的圖形是一個近似高斯分佈樣式的曲線。高點亦發生在 $\phi=1-1.5$ 之間，且最高溫度比在初始壓力為 5 atm， ϕ 為 1.11 時。

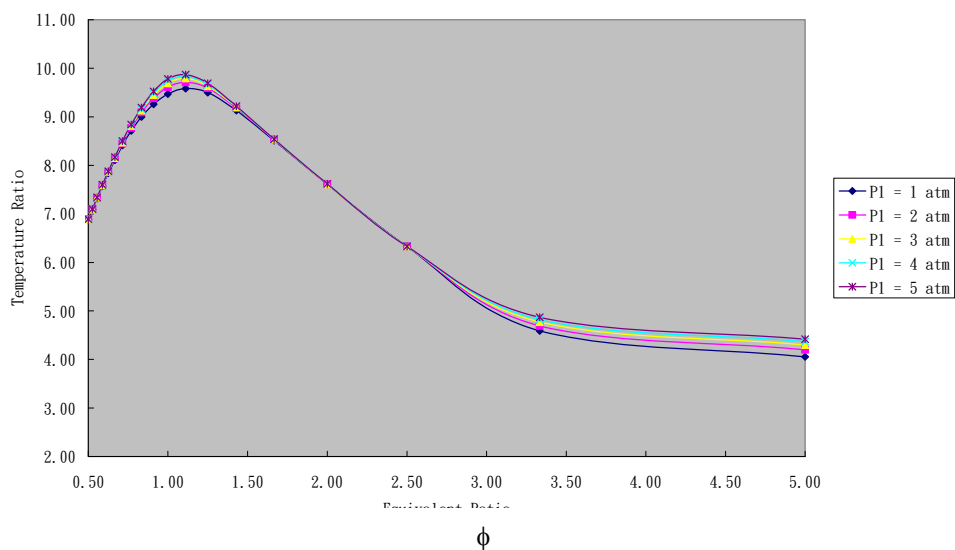


圖 4 溫度比與 ϕ 分布

3.4. 燃震溫度

類似於燃震壓力的反應，亦出現在燃震溫度的表現上。圖 5 及圖 6 代表不同初始壓力與不同 ϕ 對燃震溫度的影響。圖 5 顯示不同初始壓力下，燃震溫度的分佈，是一個接近平行線型的圖形。隨著不同當量比值顯示燃震溫度約在 1200-2900 K 之間，其中以 $\phi=1.11$ 最高，以 $\phi=2.0$ 最低。燃震腔內初始壓力的增加，雖然多少提升了燃震溫度的變化，然而上升趨勢極為平穩，幾乎可視為無變異。而圖 6 則以 ϕ 與燃震溫度為分析要件，該圖呈現一類似高斯分佈型曲線；即燃震溫度隨著當量比由貧燃料範圍推向當量比時而上升，直到當 $\phi=1.11$ 時達到最高，隨後燃震溫度便隨著當量比的增加而下降。圖 8 又顯示當 ϕ 大於 3 時，其燃震溫度的變化比起 ϕ 小於 3 時不明顯。

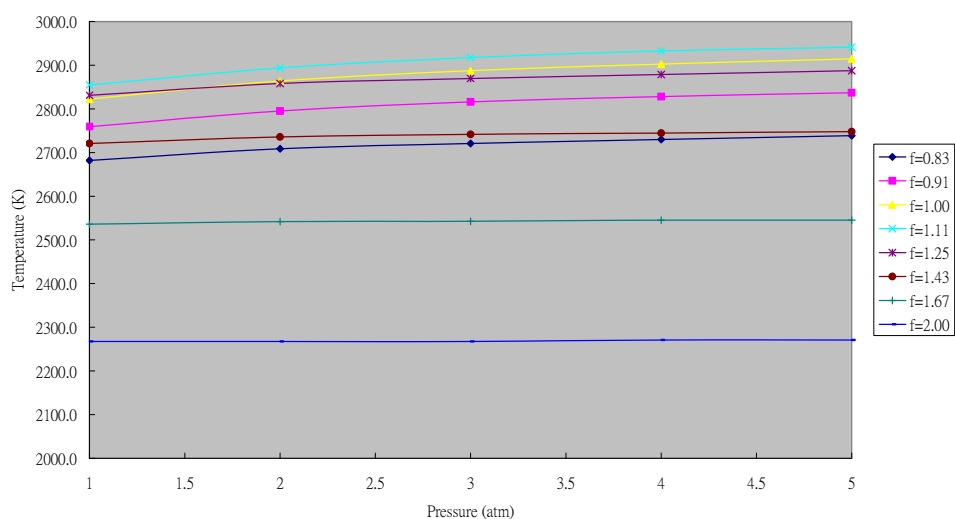


圖 5 燃震溫度與初始壓力分布

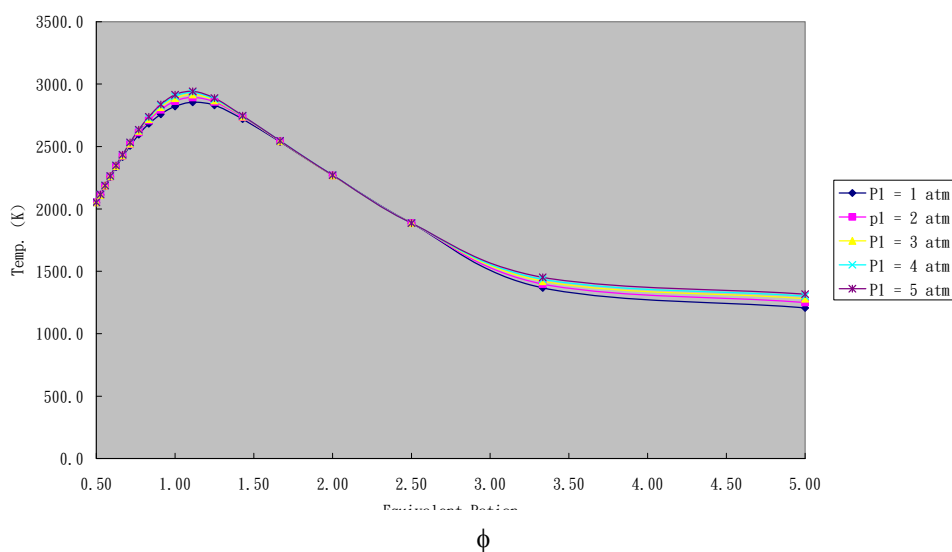


圖 6 燃震溫度與燃料量比分布

3.1.5 音速

CEC 模擬分析軟體並提供一參數稱為音速，該速度主要為引燃後，聲音在燃震氣體中傳播的速度。圖 7 以 ϕ 為橫軸，以音速為縱軸，描述不同初始壓力之混合物關係。所呈現出來的圖形與溫度比曲線近似，因為音速的計算為環境溫度的關係式。所以當燃震管管內燃料壓力在不同比值的狀況下時，產生燃震波發生後，所產生的爆轟聲音速度，約在 788 m/sec~1040 m/sec 之間，其差異性並不高。但當空燃比值中，丙烷的量越來越多時而空氣越來越少時，聲音傳遞的速度卻越來越慢。

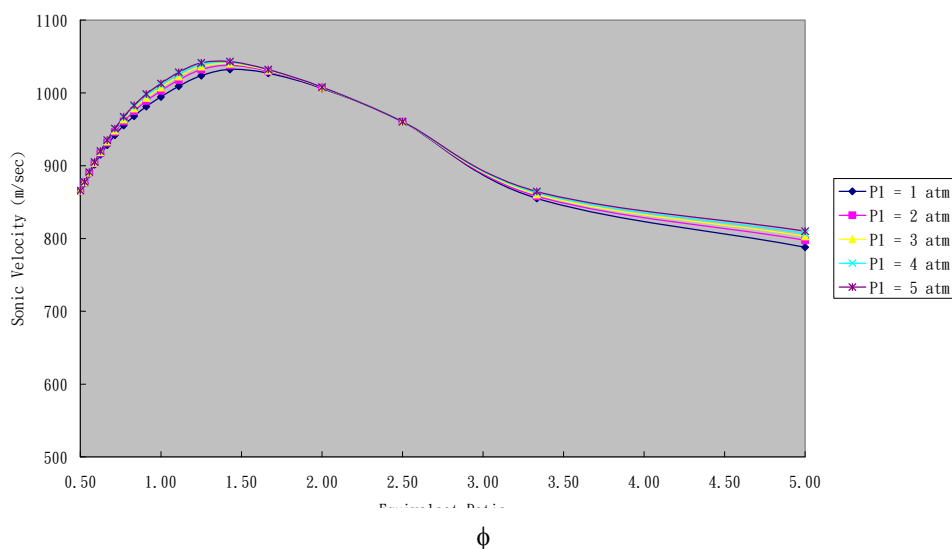


圖 7 音速與燃料當量比分布

3.1.6 燃震速度

燃震速度一般與燃震壓力被用來判定混合物是否達到燃震狀態的兩個基準。圖 8 即以 ϕ 與燃震速度為圖，所呈現出來的圖形與壓縮比、溫度比相似。而圖 9 則以初始壓力與燃震速度為圖，是為平行中帶有交錯型，各線條間部份有交錯的現象。由圖 8 及圖 9 中發現最高燃震速度發生在 ϕ 為 1.25，初始壓力為 5 atm 時，此時燃

震速度為 1855.6 m/sec，而最低燃震速度則發生在 ϕ 為 5，初始壓力為 1 atm 之 1384.8 m/sec。即 ϕ 在 1.0-1.5 之間燃震速度最大，隨著 ϕ 的增加與減少，燃震壓力趨弱。而當初始壓力較大，其燃震速度亦隨著增加。

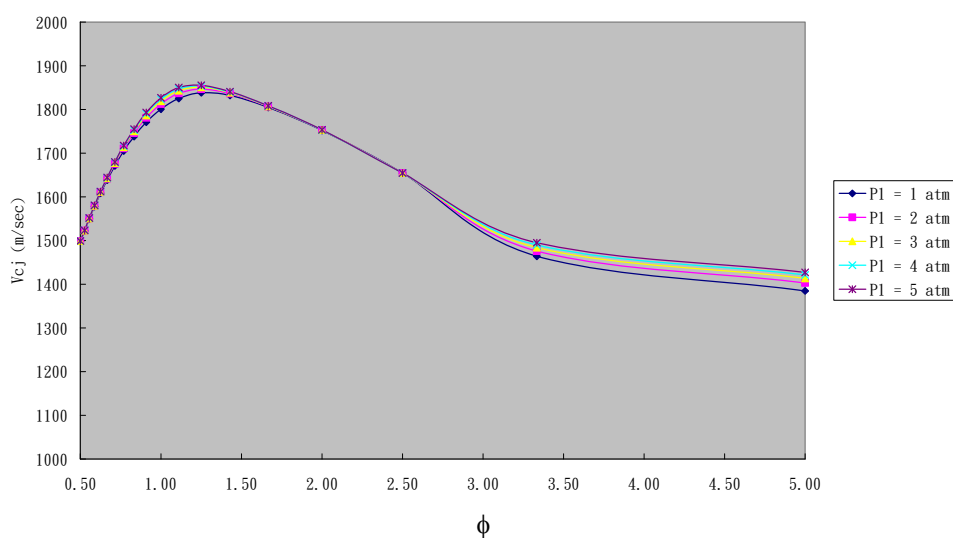


圖 8 燃震速度與 ϕ 分布

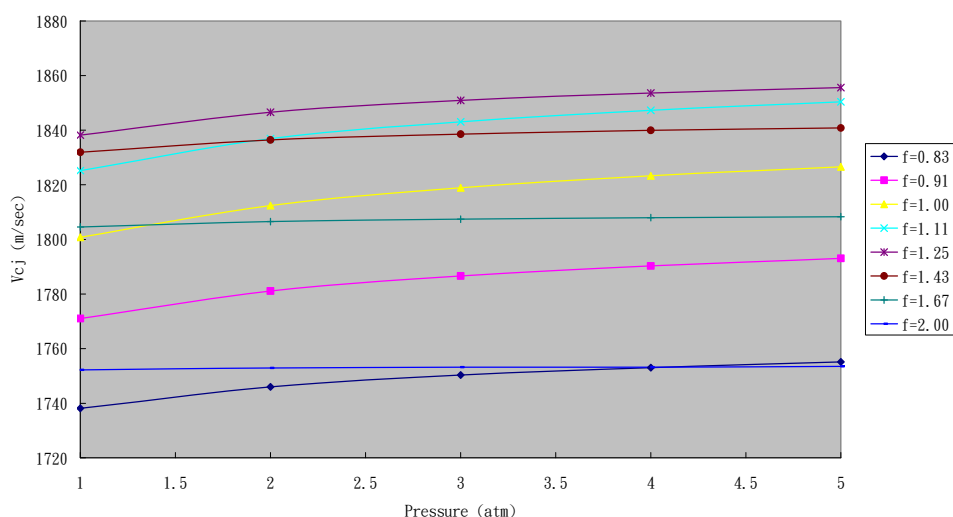


圖 9 燃震速度與初始壓力分布

四、結論

以 CEC 軟體針對丙烷與空氣混合後所產生之燃震模擬，並藉由初始壓力（1—5 atm）及 equivalence ratio (ϕ ；0.5—5) 參數的變化，本研究已使我們對於丙烷於脈衝燃震引擎內反應後所產生之壓縮比、燃震壓力，溫度比、燃震溫度，音速及燃震速度等現象有一初步的瞭解。總體而言，當丙烷與空氣混合座落於略富燃料區域時，壓縮比、燃震壓力，溫度比、燃震溫度，音速及燃震速度等將產生一最大值。若 equivalence ratio 固定時，雖然引擎內初始壓力值增加時會造成燃震後壓力也隨之增高，對於壓縮比分佈的影響不大。在探討參數範圍內，燃震溫度主要分布於 1200~2900 K 左右，且以最佳的反應條件為中心，隨 ϕ 值的增加或減少而急速下降；產生的燃震音速約在 788 m/sec~1040 m/sec 之間；最高燃震速度發生在 ϕ 為 1.25，

初始壓力為 5 atm 時，此時燃震速度為 1855.6 m/sec，以上研究可作為燃震引擎設計之參考。

參考文獻

1. Hoffmann, N., "Reaction Propulsion by Intermittent Detonative Combustion," Ministry of Supply, Volkenrode Translation, 1940.
2. Nicholls, J.A., Wilkinson, H.R. and Morrison, R.B. "Intermittent Detonation as a Thrust Producing Mechanism," Jet Propulsion, Vol. 27, No. 5, 1957, pp.534-541.
3. Krzycki, L. J., Performance Characteristics of an Intermittent Detonation Device, Navweps Report 7655, U.S. Naval Ordnance Test Station, China Lake, California, 1962.
4. Matsui, H., and Lee, J. H., "On the Measure of the Relative Detonation Hazards of Gaseous Fuel-Oxygen and Air Mixtures," Proceedings of the Combustion Institute, 1269-1280, 1978.
5. Smirnov, N. N., and Boichenko, A. P., "Transition from Deflagration to Detonation in Gasoline-Air Mixtures," Fiz. Gor. Vzryva, 22, No. 2, 65-67, 1986.
6. Korovin, L. J., Losev, A., S. G. Ruban and Smekhov, G. D., "Combustion of Natural Gas in a Commercial Detonation Reactor," Fiz. Gor. Vzryva, Vol. 17, No. 3, p. 86, 1981.
7. Helman, D., Shreeve, R. P., and Eidelman, S., "Detonation Pulse Engine," AIAA 86-1683, 24th Joint Propulsion Conference, Huntsville, 1986.
8. F.K. Lu, D.R. Wilson, "Gaseous detonations for propulsion and facility development," Shock Wave. An Int. J., 1999.
9. Litchford R. J., Thompson B. R. and Lineberry J. T., "Towards Integrated Pulse Detonation Propulsion and MHD Power," AIAA Paper 99-3662, 1999.
10. Gordon, S. and McBride, B. J., "computer Program for Calculation of Complex Chemical Equilibrium Compositions, Rocket Performance, Incident and Reflected Shocks, and Chapman-Jouguet Detonation," NASA SP 273, 1971.
11. Glassman, I., Combustion, Academic Press, San Diego, 1996.

小型引擎之可變進氣系統

Applied Variable Inlet System Technique on Small Engine

葉啟南^{*1} 黃志偉^{*2} 張惠廷^{*3}

Chi Nan Yeh¹、Chih Wei Huang²、Hui Ting Chang³

三陽工業股份有限公司研發中心

Research and Development Center of Sanyang Industry Co., LTD

摘要

提升引擎輸出的性能有許多方法如：壓縮比的改變、可變汽門正時、缸內流場的控制與進、排系統的匹配等，都是獲得性能提升的手法。而如何運用與匹配，需要了解其中的原理使性能發揮出最大的效應。此研究是利用進氣歧管內流體的慣性與脈動特性，相互搭配提升進氣效率，使引擎的性能更往上提升，進而改善油耗與污染。

關鍵詞:可變進氣、引擎、進氣效率、油耗

Abstract

To improve the fuel consumption and performance of internal combustion engine, new technique called variable connecting tube system is developed in 2 wheels scooter engine. Using the technique; the charge efficiency reforms both in low engine speed and high engine speed conditions. How to design and define the variable connecting tube of inlet system is difficult for scooter engine. This paper is going to discuss this technique and methodology of the system.

一、前言

在能源短缺污染嚴重的浪潮聲中，環保議題被重視的同時，提升引擎的性能是各車廠努力的重點。一般而言，若是低速性能佳的引擎，高速特性會較差；而高速行性能佳的引擎，低速特性會較差。但為了使引擎在各區域工作轉速，或各油門開度都可獲得最佳的動力輸出，所以延伸出許多可變機構技術，改善引擎在各工作區的性能輸出使得引擎動力的輸出全域均良好。例如：VVT (Variable Valve Timing)、VTEC (Variable Valve Timing and Lift Electric Control) 使引擎在各負荷下均具備有良好的性能、油耗與低污染的表現[1][2][3]。然而在小型的運輸工具中如：機車；上述的可變機構過於複雜，進而較無法廣泛運用此技術在此交通工具上。若利用簡單的可變進氣管系統，調整引擎在各區域性能的表現。則較具量產可行性，本文就可變進氣系統技術運用在小型機車引擎進行探討。

二、可變進氣系統技術

^{*1} 三陽工業股份有限公司研發中心 主任，工學博士

^{*2} 三陽工業股份有限公司研發中心 副研究員

^{*3} 三陽工業股份有限公司研發中心 副主任研究員

引擎於吸氣過程中，進氣歧管內流體受活塞下行時，所形成的負壓將氣體吸入缸內。而氣體是否可在這行程中填滿此容積，主要受進氣閥門的截面積、氣體流動的速度與汽門正時等所影響。

可變進氣系統主要是針對引擎的進氣系統加以改善與設計，希望藉由此系統，使引擎在各轉速下均可獲得較佳的進氣效率。而如何設計與改善，須了解氣體在進氣歧管內流動的特性。

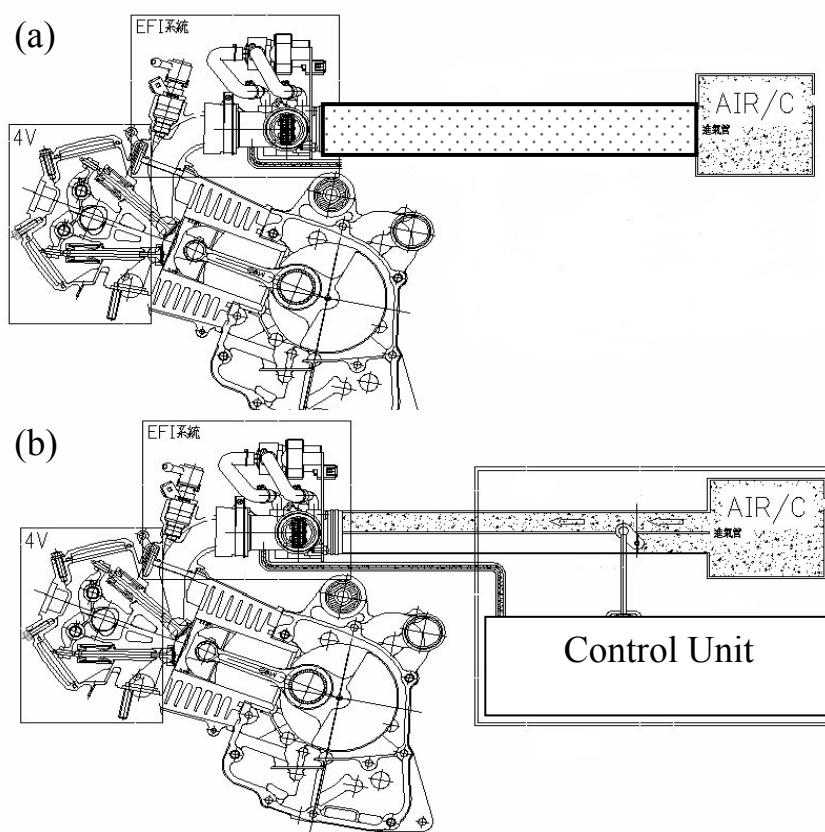
流體在進氣歧管內流動的特性有慣性與脈動兩因素所主宰[4]，因氣體均有質量而慣性力是由先前所提的活塞下行時，產生的負壓所造成的。當在進氣行程末了時，活塞經過進氣行程下死點(BDC)後，流體受慣性力的作用，還持續的進氣使缸內氣體密度往上提升，進一步的提高進氣效率。

脈動為氣體本身的特性所造成的，當氣體速度超過 0.3 倍的音速時，將被視為可壓縮流，流動的氣體即擠推(壓縮)前方停置的氣體，因前方的氣體來不及變形，而在流動氣體前方形成壓力波(Pressure Wave)[5]。此壓力波的脈動可用於下一循環的進氣行程，當進氣閥門開啟時若此脈動為正壓波，則可獲得加成的效果進而提升進氣效率。

三、研究方法

1. 進氣管特性的選擇

在測試過程中將節流閥與空氣濾淨器之間的連接管從習知的單一管路換為複數管路，如圖一所示。圖一中(a)為習知的單一管路。圖一中(b)為可變進氣系統的式樣，利用不同的管路直徑，調協管路中氣體的慣性力及脈動特性，進而獲得引擎性能全域的改善。



圖一、不同進氣管路的配置

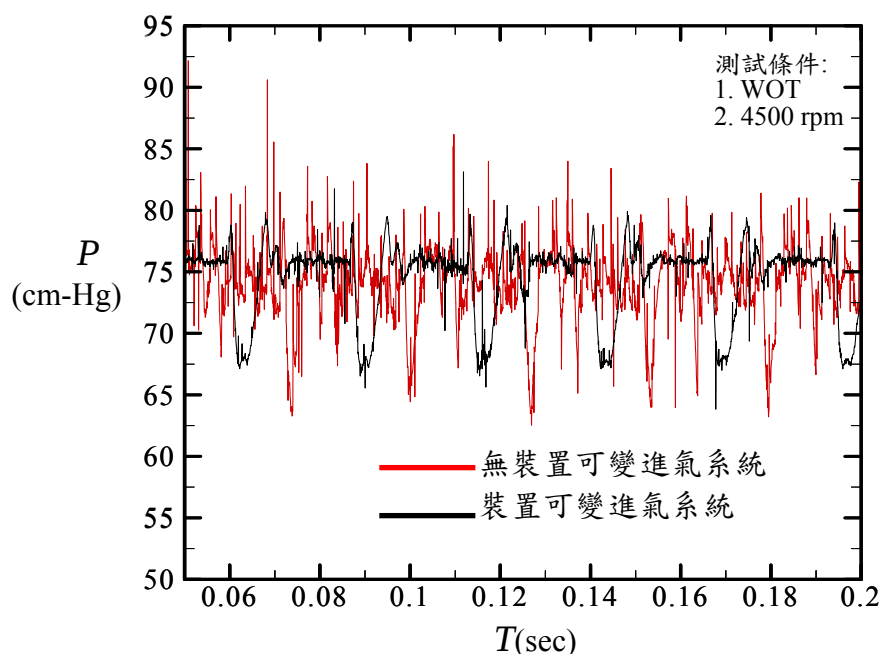
在測試的同時量測進氣歧管與排氣系統內的壓力、進氣效率與引擎的性能特性，獲知吸氣壓力的狀態與性能的關係。

量測進氣歧管與排氣系統內的壓力使用 KISTLER 公司所生產的壓電晶壓力感知器型號為 4075A10 量測範圍 0-10 bar。進氣效率量測儀器使用 MERIAM 公司所生產的層流式流量計型號為 50MW20-2 校正後量測範圍 0-40 CFM。動力量測設備使用 MEIDENSHA CORPORATION 公司所生產的直流式動力計，型號為 SHD12/6WA，量測最大轉速 3000rpm，最大制動馬力 37KW，最大制動扭力 48.4Kgf-m。測試用引擎規格如下表所示，

引擎類別	強制氣冷式，垂直前傾四行程引擎
引擎型式	頂置單凸輪軸(SOHC)
汽缸數	1
缸徑	52.4 mm
行程	57.8 mm
總排氣量	124.9 c.c.
供油方式	EFI

表一、測試用引擎規格

將單一管路換為複數管路的進氣壓力，如圖二所示。由圖中裝置可變進氣系統(黑色線條)與未裝置時(紅色線條)於 4500rpm，節流閥全開(WOT)時的壓力脈動。由圖中可明顯的發現，未裝置可變進氣系統的歧管壓力相當雜亂，壓力變化相當大與慣性力小於裝置可變進氣系統的壓力，使此轉速的進氣效率不佳，也低於裝置可變進氣系統時的進氣效率。

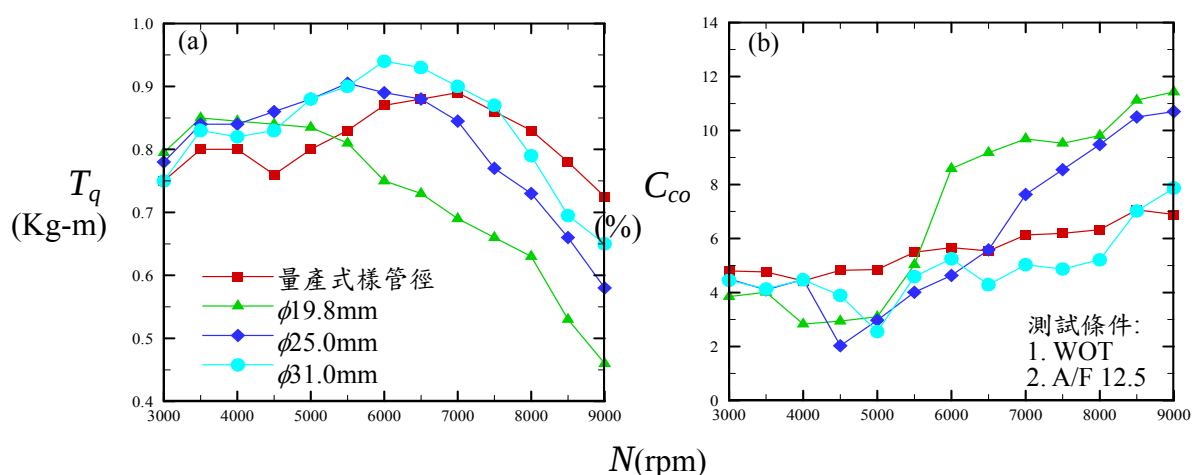


圖二、有、無裝置可變進氣裝置的進氣壓力

經由測試不同管徑 $\phi 19.8\text{mm}$ 、 $\phi 25\text{mm}$ 與 $\phi 31\text{mm}$ 的性能特性。測試之後得知 $\phi 25\text{mm}$ 於低速區域(4000~5500rpm)為最佳，如圖三中(a)所示。

為何 $\phi 19.8\text{mm}$ 無法使用，因為慣性力足夠但截面積不足，促使在較高轉速 5000~6000rpm 時的進氣效率不佳使引擎性能順勢下降。從實驗的手法中也得知 $\phi 19.8\text{mm}$ 用的區域在 5000rpm 以下。而 $\phi 31\text{mm}$ 因低速慣性力不足，導致低速時 (3000~5500rpm) 進氣效率低於 $\phi 19.8\text{mm}$ 與 $\phi 25\text{mm}$ 。但在高速時因截面積較大使進氣效率大於 $\phi 19.8\text{mm}$ 與 $\phi 25\text{mm}$ ，使高速性能(6000~7000rpm)較佳，但 7000~9000rpm 並無法高或相等於量產式樣，主要原因為等效截面低於量產式樣的連接管截面積。

圖三中(b)為測試過程中污染生成物 CO 的生成量，由圖中可發現當在不同管徑的慣性力與脈動作用效果下，污染生成物 CO 有明顯的改善。但過了其特性範圍後，因進氣效率不足導致燃燒效果不佳，進而使污染生成物 CO 增加。

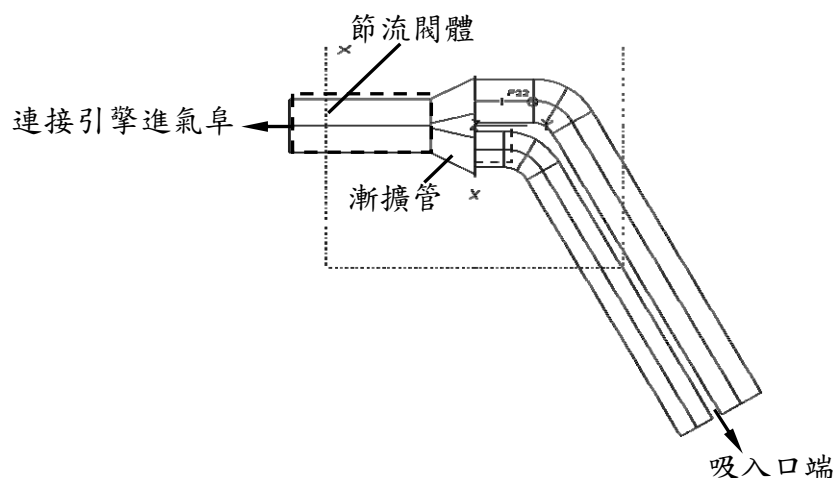


圖三、不同管徑下的性能特性

為了使引擎在低速區域性能提升(運用 $\phi 25\text{mm}$)，並且也需保持原有高速區域性能的特性。所以在高速時需再開啟另一旁通道，增加進氣截面積相對也是改變管徑特性，使開啟後的管徑特性座落於引擎高轉速的區域內，進而提升引擎高轉速時的性能。

2. 旁通路配置位置的選擇

若將兩管出口端平行放置並正對節流閥體入口處，如圖四所示。



圖四、高、低速出口端平行放置

此一配置因高、低速管組合出口處，面積大於節流閥體入口端截面積，所以兩端以一個漸擴管接合。低速時低速管的慣性力至此位置時，受空間增大的因素將使慣性力下降，使引擎性能提升的幅度，低於單一直管的特性。高速時將高、低速管兩者開啟時，兩管出口處的流體會相互干擾進而影響高速性能，而兩管各自的脈動會在此會合，將形成另一合成波，進而影響進氣的慣性力使引擎於高速時性能不佳。

為改善上述的問題，首先確保低速管為直管，而高速管置入於低速管側邊位置處，並確保低速管出口處正對於節流閥體入口位置，兩者組合接合處不可有漸擴管避免低速管慣性力降低。高速管在此配置中視為一閥體機構，做為截面積變化的控制單元。而此配置可改善流體相互衝突的現象發生。

四、結論

藉由可變進氣系統改善引擎於低轉速或低負荷時的進氣效率，進而提升引擎在低轉速或低負荷時輸出的效率，是有具體的效果。然而在複數進氣管中，進氣管相交會處的幾何設計的良窳，將會影響吸氣壓力的狀況。經由歧管壓力與進氣效率相互比較與修改幾何式樣的結果，最後獲得較佳的配置狀態。而式樣的決定為此系統發展的前半部也是最為重要的，後續尚需發展控制方法與調整引擎管理系統(Engine Manage System) 的相關參數，使此系統更具備商品特性。

五、參考文獻

1. Yutaka Otobe, Hiroshi Kawaguchi, Hideo Ueshima, Development of the high-power, low-emission engine for the "Honda S2000", SAE, 2000-01-0670
2. Peter H. Dugdale, Roger J. Rademacher, Bruce R. Price, Jay W. Subheder, Roger L. Duguay, Ecotec 2.4L VVT: A Variant of General Motors Corporation's Global Engine, SAE, 2005-01-1941.
3. Yoshihito Moriya, Atsushi Watanabe, Hitoshi Uda, Hiroshi Kawamura, Mamoru Yoshioka, Michio Adachi, Anewly developed intelligent variable valve timing system~Continuously controlled cam phasing as applied to a new 3-lirer in-line 6 engine, SAE, 9605791.
4. Heywood, J.B., Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill, New York, 1988.
5. James E. A. John, Gas Dynamics, Allyn and Bacon, Boston, 1969.
6. Tennekes, H. and Lumley, J. L., A First Course in Turbulence, MIT Press, Cambridge and London, 1992.
7. Richard J. Goldstein, Fluid Mechanics Measurements, Taylor & Francis, Bristol 1996.
8. 李進修, 王漢英, 汽機車引擎設計與分析技術, 國立清華大學出版社, 2005.

符號索引:

BDC 下死點(Bottom Dead Center)

C_{co} 一氧化碳(%)

N 引擎轉速(rpm)

P 壓力(Cm-Hg)

T_q 引擎扭力(Kg-m)

WOT 節流閥全開(Widely of Throttle)

T 時間(sec)

燃燒技術研發及燃燒產業發展策略座談會 會議記錄

日期：96 年 3 月 31 日 13:00 ~ 14:30

地點：國立台灣大學應用力學研究館 國際會議廳

主持人：工研院 能環所 胡耀祖 副所長 (顏溪成副所長 代)

主辦單位：經濟部 能源局

協辦單位：工研院能環所、中華民國燃燒協會

紀錄：范光錢

會議摘要紀錄：

壹、 主持人-顏溪成副所長

燃燒研究一直有很悠久之歷史，然而隨著大環境的改變，燃料來源的多元化，產業界期望新一代的燃燒技術能適用於更多種類之燃料，降低污染排放；並為與燃燒相關的產業尋求新的出路。今天的來賓集合了學界及產業界的代表性人物，希望與會人士能多提供意見，共同擬定我國未來燃燒技術的研究方向，重新啟動燃燒的熱情。

貳、 我國前瞻燃燒技術研究方向

一、 引言人-林大惠教授(成大機械系)

1. 為了避免溫室效應的氫燃燒是一前瞻趨勢，此外燃燒合成研究方面包括固體燃燒合成及氣體燃燒合成，後者用以製造奈米碳管及奈米碳球。
2. 前瞻的燃燒系統研究除了不斷要求提高效率外，亦被要求不可排放廢氣及多元燃料的燃燒研究趨勢。
3. 為提升工業燃燒效率及環保，可進行 combined cycle、超臨界(USC)鍋爐研究、爐體 insulation 及高、中、低溫廢熱回收等研究。
4. 在燃燒排放廢氣處理方面，可進行燃燒後處理方式、in-combustion treatment 方式等垃圾不落地(self cleaning process)燃燒控制技術研究。

5. CO₂ 減量的技術方面，adsorption, absorption, separation, distillation 都是值得進行研究。
6. 燃料的前處理方面，對於不好的燃料可進行氣化及乳化處理，對乾淨燃料可進行富氧處理。
7. 值得注意的前瞻研究還包括 stage combustion, burning beyond limits 等研究以降低污染排放，另外還有催化燃燒、氫經濟的氫燃燒研究及高溫燃燒系統研究等

二、與談人-趙怡欽教授(成大航太所)

1. 燃燒技術應朝向『精緻化』的方向努力，擺脫『黑手』的印象。
2. 由於分析與實驗技術之進步，精確的燃燒技術研究可以精確控制燃燒溫度、火焰長度及污染物等，可改善工業爐及燃燒相關設備的設計技術。

三、與談人-馬小康教授(台大機械系)

1. 愈單純的 fuel (如氫燃料) 進行燃燒，較易控制，是未來發展的一趨勢。
2. 思考將燃燒的應用與別的產業結合，例如藉由燃燒合成技術，應用於工業產品之 coating 提昇附加價值。
3. 靠龍頭產業(例如鋼鐵業之中鋼公司、中油、台電、台塑等)帶動燃燒科技研究。
4. 『精緻化』燃燒技術研究，提昇附加價值。

四、與談人-施聖洋教授(中央機械系)

1. 燃燒產業之興衰靠人才培育。
2. 進行 micro combustor 研究(micro scale)，例如鈕扣大小的觸媒燃燒技術研究。
3. 隨著電腦科技的進步，燃燒流場的數值模擬分析技術仍值得進一步投入。
4. 思考如何將燃燒與 new sciences 結合，拓展研究領域，例如星

體燃燒模擬研究, bio , bacteria fuel cell 等。

5. 燃燒人才培育網站架設, 提供基礎課程的教學等。

五、與談人-陳俊勳教授(交大機械系)

1. 思考研究提高燃燒效率、CO₂ 減量的技術方法。
2. 應用熱管進行鍋爐廢熱回收。
3. 思考與新興科技結合, 例如 bio-mass; 用生物菌來進行燃料前處理, 改善燃燒之乾淨性; 用 CO₂ 來養藻類; 應用燃燒修復 subway 之玻璃刮痕; 藉由燃燒合成技術產生奈米碳管等先進材料等。

參、燃燒節能技術之研究及推廣應用

一、引言人-歐正章博士(中鋼公司)

1. 能源成本約佔鋼鐵生產成本之 25%, 生產一噸鋼會產生約 2 噸之 CO₂, 鋼鐵業重視與能源及環保相關之研究。
2. 多元能源應用、提高能源使用效率、降低污染及廢熱回收等是急待解決之研究題目。
3. 區域能源資源整合, 例如中鋼之副產品蒸汽、氮氣或氫氣等可售予鄰近之公司, 以充分利用資源。
4. CO₂ 捕捉、封存或再利用等研究。

二、與談人-薛興成董事長(駱鈴工程公司)

1. 煤炭氣化產生合成氣作為發電燃料, 可以提昇整體的效率, 降低 NO_x 排放。
2. 燃燒技術的研發也必須考慮現有材料及成本的問題, 技術才有辦法落實。
3. 燃燒應不停的學習、adapt , and modification 。

三、與談人-徐真明副所長(台電公司)

1. 台電燃燒發電約佔總發電量 70%, 其設備仍有 40 年使用壽命, 但為達京都議定書之目標, 急待提昇其燃燒效率。

2. 由於成本或缺貨等考慮，為了使現有設備適用不同性質種類之煤，燃燒適應控制(APC, advanced process control)系統是一可以解決問題之技術手段。
3. IGCC(德)已加入 20% 之 bio-mass 燃料來發電(綠色電力)，降低 CO₂，但不降低效率；使用 renewable 能源加上 APC 應可改善舊有發電設備，是一個值得投入之技術領域。

四、與談人-羅永祥工程師(中油公司)

1. 大多數中油的客戶並不特別強調效率的提昇，而僅希望保持原有系統的效率及操作即可。
2. 由於油品市場開放，為因應工廠鍋爐燃料油來源品質不同，如何維持燃料油的粘度及加熱系統的燃燒效率，是中油客戶常碰到的問題。
3. 當燃料改使用天然氣時，其燃燒系統應如何修改。
4. ITRI 的鍋爐效率調整服務很受業界歡迎，建議應繼續推動並提供服務。
5. ITRI 之相關技術，如瓦斯爐具等，建議專利授權給國內廠商，以提昇國內產品的節能效益。
6. 進行劣質之燃料的乳化技術研究，以達到節能及環保。

五、與談人-葉鏘輝副理(育華興業公司)

1. 目前政府對開發節能技術的投入不足。
2. 蓄熱式燃燒技術(HRS)是現有節能效率最高的燃燒技術，然而因造價高，國內的應用實績很少。目前本公司的商業推廣做法是初期 user 只付總經費的 50%，之後再分期付款；為鼓勵廠商投資 HRS 設備以節約能源，政府應仿效日本的做法給予 user 適當的補助。

六、與談人-康德發總經理(大德機械公司)

1. 研究變頻技術用於驅動燃燒風機，除了節能亦可減低噪音。然

而在升降載過程中，風門相對於油閥開度有時間遲滯現象，使得燃燒不完全；此部份可藉由 PLC 進行 time delay 控制，達到穩定控制空燃比的效果。

肆、 產官學研綜合討論

一、 李文伯博士(坤騰科技公司)

1. 當燃料愈來愈貴時，NG 將只用於化工原料，此時僅用煤作為發電，因此應重新啟動不同燃料（含劣質煤）之混燒研究以提昇產業競爭力。
2. 完整的精緻燃燒技術研究，才可在產業應用。
3. 燃燒技術之研究必須根據系統化的觀念來思考，而非僅是開發系統中的某一個元件。
4. 學校應著重燃燒上游之研究，ITRI 可進行大型實驗設備之建立並與學校密切合作。
5. 仿歐洲使用綠色電力之措施，鼓勵使用 renewable 燃料。

二、 陳金德組長(經濟部 能源局)

1. 提昇能源使用效率之研究應積極進行。
2. CO₂ 減量、利用或封存是重要的議題。
3. 重新思考研究使用 biomass、動物糞便、沼氣等之利用。
4. 燃燒技術之研究請各界提出可協助國內業者之研究目標及方向

徵稿說明

下列專欄，歡迎大家耕耘：

1. 專題研究--分為五大方向，分別為「能源發展與應用」、「動力設施與燃燒」、「防火與消防」、「燃燒科技發展」、「空污控制與生物效應」。
2. 燃燒科技交流--燃燒應用技術、新技術或新產品介紹、疑難討論與經驗交流、國內外相關研究機構介紹、國內外相關學會、機構、團體之動態等，相關研討會論文摘要或全文、燃燒現象照片等。
3. 燃燒論壇--開放討論基本燃燒現象、基本燃燒原理及燃燒詞彙定義等。
4. 即時資訊--政府相關政策、國內外相關科技資訊、研討會或相關活動訊息等即時之動態資訊。能源委員會、環保署、國科會、消防署等相關機構委託執行計畫之研究成果介紹等。
5. 其他--讀者意見迴響交流與燃燒相關之其他任何訊息或稿件。

來稿請寄本會【[電子信箱](#)】或

【20224 基隆市中正區北寧路 2 號，海洋大學輪機系 林成原教授 收
e-mail：Lin7108@mail.ntou.edu.tw；fax：(02) 24622307、24634194】

投稿須知

1. 文字：稿件應以中文或英文撰寫，中文文字之字型應為標楷體字，英文文字字型應為 Times New Rome。
2. 題目：應力求簡潔且能充分表達論文之重要概念，請附中、英文題目各一式，英文題目請附於中文題目之後。
3. 作者：請附上中、英文之作者姓名、服務單位及職稱。作者之服務單位及職稱請以附註之方式書寫同一頁之末端，若作者為兩個人以上者，請以不同之符號標示之。
4. 摘要：以簡明扼要之方式表達論文之內容。無論以中文或英文撰寫，一律附上 500 字以內之中、英文摘要各一份。英文摘要請置於中文摘要之後。
5. 字型大小：題目以 16pt 黑體字，作者介紹以 12pt，摘要、前言、文章內容之標題請以 14pt 黑體字，文章內容以 12pt 標楷體字書寫之。
6. 關鍵字：中英對照關鍵字，最多以 5 個為限。
7. 圖表說明：圖說與表說應統一使用中文或英文，圖標題應在圖之下方；表標題應在表之上方。
8. 參考文獻：(列於正文之後，書寫時請依於文章中出現之先後順序排列)
(1) 書籍：作者，書名，出版社，出版地，頁數，年。

- 中文如：柯清水，*石油化學概論*，正文書局，台北，pp. 183-191，1992。
英文如：K. Owen and T. Coley, *Automotive Fuel Reference Book*, 2nd ed.,
Society of Automotive Engineers, pp. 551-587, 1997.
- (2) 期刊論文：作者，篇名，期刊名稱，卷期，頁數，年。
中文如：葉江榮，鍋爐高溫腐蝕，*台電工程月刊*，第 276 期，pp. 10-18，
1979。
英文如：J. T. Kummer, Catalysts for Automobile Emission Control,
Progressive Energy and Combustion Science, Vol. 6, pp. 177-199,
1981.
- (3) 研討會：作者，篇名，研討會論文集，出版者，頁數，年月或年。
中文如：萬皓鵬，汽電共生系統效率提升技術，*2002 汽電共生系統技術
研討會論文集*，經濟部能源委員會，pp. 84-91，91 年 4 月。
英文如：C. K. Law, Dynamics of Stretched Flames, *Twenty-Second
Symposium (International) on Combustion*, The Combustion
Institute, pp. 1381-1402, 1988.

燃燒季刊 2007.05

發行單位：中華民國燃燒學會

發行人：趙怡欽

總編輯：林成原

副總編輯：許文震 吳友平

編輯：胡耀祖 吳浴沂 蔡聖豐 陳再福 陳維新 葉啟南 李宗賓

林漢卿 曾重仁

秘書：莊雅菁

發行地址：70101 臺南市大學路一號 成功大學航太系

電話：(06) 2757575 ext 63600

中華民國八十一年十二月創刊

中華民國九十六年五月出版

局版台誌號第玖玖零捌號