

生質航空燃油對小型噴射渦輪之特性影響分析

Analysis on Small-Scale Gas-Turbine Performance by Using Biomass Aero-Fuel

葉俊賢 Yeh Jun-Hsien
正修科技大學 Cheng Shiu University

摘要

本研究之主要目的在以實驗驗證方法配合油料特性分析，進行分析與改善烷化生質航空燃油之相關特性，包括進行實機測試生質油料對小型渦輪噴射引擎之軸向推力、加速性與操作穩定性之影響，研究成果將可提供做為相關產業進行產品改良及其商品化可行性之評估參考。研究結果發現烷化生質油料對於渦輪噴射引擎於中高轉速操作時推力提升之平順度、加速性及穩定性均有很好的表現，如能克服低轉速時的特性，運用烷化生質油料作為航空燃油是相當可行的。

關鍵字：加速性、軸向推力、生質航空油料

Abstract

Experimental analyses were conducted to study characteristics and real applicability of a biomass aero-fuel. A test stand with a small-scale gas turbine jet engine was used to study the effects of biomass aero-fuel on axial thrust, acceleration rate and operation stabilization of a small-scale gas turbine engine. Results of this research will be references of the energy industry to improve quality of products and to evaluate commercialize feasibility. Results show that the axial thrust, the acceleration rate and the operation stabilization are excellent for the small-scale gas turbine jet engine at middle and high revolution region by using the biomass aero-fuel. Thus, it is feasible to use biomass fuel as the aero-fuel if the operation characteristics of the small-scale gas turbine jet engine at low revolution can be improved.

Keywords：Acceleration rate, Axial Thrust、Biomass Aero-Fuel

一、前言

1.1 研究動機

眾所皆知目前石化燃料不論在工業、民生或國防應用上都扮演著相當重要的角色，而一個國家工業化的程度往往可以從其國內石化燃料的消耗量做評估，因此石化燃料不論在工業、民生或國防應用上在各國都扮演著相當重要的角色，然而在歷經數十年的開採後，石化燃料已經面臨用罄的危機，尤其石化燃料在燃燒後會排放氮氧化合物(NO_x)及碳氫化合物(HC)，造成對環境的污染也嚴重危害人體的健康，因此，基於能源問題及降低污染的理由，運用生質油料做為工業燃料的情形愈來愈多，故，研究具有降低污染及解決能源問題的生質油料特性，對推廣生質能源應用已是一項相當重要的課題，而且此舉對於達成全國能源會議規劃於2020年時新及再生能源將佔能源總消費

量之1至3%亦有相當的幫助。而在眾多運輸工具中航空器是長程運輸中不可或缺的交通工具，因此，研究具有解決能源問題的生質航空燃油，對解決未來能源短缺時所造成的航空燃料需求問題具有相當的助益，尤其在能源匱乏的台灣，替代能源的研究更顯現其重要性。況且將來生質油料的應用如果能普及化，對解決國內加入WTO後所造成的農民轉業問題亦有相當的助益。

目前世界各國正不斷的尋找替代能源，以求解決石油危機及環境污染日益嚴重之問題，此為當前各國政府必須面對的兩大議題，根據學者提出之研究報告指出烷基酯化生質油料能同時克服這兩種問題，且對於 NO_x 、PAH、nPAH更能有效降低其污染。烷基酯化生質油料亦使 NO_x 排放污染降低，這無形對各大都市在使用生質油料之推廣上注入一劑強心針，也對我國環

境改善將有所助益。而在煉油工業領域中所謂的烷化 (alkylation)，係指利用低分子量的烯烴與異烷烴作用，產生高分子量異烷烴的反應，在高溫高壓環境中且不使用觸媒劑的情形下進行。如果使用酸或氫氟酸則可進行低溫烷化，而烷化後的油料則被稱為烷化油，其辛烷值很高，主要用途為摻配航空汽油及高辛烷值車用汽油。

石油不是無限量的，經學者預估即將於 40 年後將用盡，醞釀中的高成本能源時代將會來到，因此在烷基酯化生質油料的應用研究更凸顯其重要性，且烷基酯化生質油料為一新式綠色能源，未來推廣使用後我們生活的地球環境將可得到進一步的改善，尤其過去政府扶植重點一直在高科技產業上，然而一個國家的經濟發展需要整體產業的貢獻，政府對我國傳統產業亦需投注適當的關懷與協助，積極協助各類業者技術升級與提升自我競爭力與研發能力，以均衡產業之發展。

基於上述之理由，本研究期望以實驗驗證方法使用小型渦輪噴射引擎(Gas Turbine)配合油料特性分析，探討生質航空燃油對小型渦輪噴射引擎之特性影響，如軸向推力、啟動性與加速性等。彙整各項實驗數據後，作為相關產業從事生質油料生產與改善油料品質之參考，並可作為商品化之可能性評估。

1.2 生質油料研發與引擎測試研究

由於植物油催化後製造的生質油料(甲基酯 methyl ester)具有相當多的優點，如再生性、具生物分解能力等，在工業應用上不會對環境造成污染，因此在近幾年來有相當多的學者投入研究使用生質油料作為替代燃料。基於生質油料的化學及物理特性和石化柴油相當接近，使用於市售柴油引擎時又大多不需要修改引擎，故，很多研究均在探討使用生質油料作為柴油引擎替代燃料時的引擎效能與排氣分析上[1-5]，也有部分論文研究轉換植物油成為生質柴油之技術，並探討使用生質油料作為潤滑液及油料添加劑之應用研究[5,6]，替代性燃料的研究發展一直是國際間所重視的課題，如醇類燃料與生質柴油的研究等，所謂的生質柴油(biodiesel)係利用植物油或廢食用油，經過催化劑作用產生酯化反應，經分離甘油再經清洗乾燥即可獲得性質與柴油相近之生質柴油[7,8,11]。討論如何降低石化燃料在燃燒後所產

生的廢氣污染以及低污染替代能源的應用等相關研究，亦相當受到政府及國內外相關學者的重視，尤其在能源匱乏的台灣生質能源的研究更顯現其重要性[6-13]。當然針對生質能源的應用研究，對受加入WTO後嚴重衝擊的台灣農業，可說是一個轉捩點，不但可為農民注入一劑強心劑，也為台灣能源科技開闢另一條康莊大道。

國內在替代能源的研究方面相較於國外起步較晚，如日本、德國、澳洲及巴西等，然而多位教授學者的努力下已有相當好的研究成果，如國立成功大學機械系林大惠教授在醇類替代燃料的研究上完成建立理論分析模式，而且在定性分析上理論與實驗具有一致性[12]。國立台灣大學生物產業機電工程學研究所謝志誠教授亦指導其研究生完成生質柴油的產製問題及在柴油引擎應用上的研究[8]，國立台灣海洋大學輪機工程系林成原教授致力於研究新製程、亦探討其自行產製之生質柴油與市售及中油石化柴油之性質[11]。成功大學航太中心李聰盛博士投入新能源的研究亦有多年的經驗，曾與工研院能資所合作探討使用生質柴油的柴油引擎之燃燒及污染特性建立相當好的研究數據[13]，由此得知生質油料的研究在國內不但受到產官學的重視亦已獲得相當的研究成果。

基於研究經費的考量本研究將採用小型渦輪噴射引擎作為實驗設備，在渦輪噴射引擎的研究方面在國內尚屬於起步階段而且均著重於小型渦輪噴射引擎，而近年來國內外在運用小型噴射引擎進行實機測試方面亦有多篇研究報告[14-19]，如工研院何無忌博士曾針對超小型噴射引擎進行研發測試[14]，90年楊儒銘使用雷虎公司研發之小型渦輪引擎作動態性能之模擬與驗證以作為噴射引擎推力輸出之控制器開發基礎[15]，91年黃一民從建構引擎進排氣系統及引擎測試架著手，以測試超小型噴射引擎並量測影響引擎性能之參數如溫度、壓力、耗油率與推力等[16]。88年鄭玉民利用labview圖控程式發展數位信號處理器作為控制噴射引擎之控制器[17]，1999 C. Evans 等人使用頻率控制技術藉以發展噴射渦輪引擎之控制器[18]，1999 Omar Othman Badran 則使用控制技術量測噴射渦輪引擎之各項操作參數以作為提升渦輪引擎之性能[19]，從相關文獻得知，運用小型渦輪噴射引擎進行研究的學者相當多，而且其製造技術也已經相當成熟，同時其分析原理與大型渦輪噴射引擎相同均為標準布雷登空氣循環(Brayton cycle)(George B.

Brayton 1830-1892 提出之 air-standard ideal-gas turbine cycle)，因此使用小型渦輪噴射引擎作為生質航空油料開發與改良之測試裝置是相當合理的[20]。

二、實驗設備與進行步驟

本研究使用一具德國製造具有 12 公斤推力之小型渦輪噴射引擎作為測試裝置(如圖一所示)，此引擎模組配置引擎控制系統、引擎資料傳輸單元、引擎自動啟動單元、推力量測單元、遙控系統、AD/DA 數位轉換卡、K Type Thermocouple 溫度量測系統與圖控軟體後，構成自動化噴射引擎測試系統，以進行新型航空燃油對小型渦輪噴射引擎之軸向推力、啟動性、加速性與操作穩定性等之影響研究，量測數據包括進氣溫度、引擎轉速、引擎推力、加速時間及排氣溫度等。圖二所示為本研究所使用之測試系統，渦輪噴射引擎安裝於高精度移動平台上，此移動平台採用兩條低摩擦力線性軸承以減輕量測引擎推力時因平台移動所造成的摩擦力而產生誤差，引擎推力量測單元採用解析度 2 公克最大量測壓力 35 公斤之負載單元(load cell)，此裝置可同時將量測壓力輸出 0 至 10 伏特及以顯示器呈現量測壓力。訊號量測裝置包括一只 12bit 解析度之 AD/DA 數位轉換卡及圖控軟體以量測引擎推力訊號與引擎溫度，推力量測之取樣率設定為每秒量測 10 點。

三、結果與討論

表一所示為烷化生質航空油料與目前航空用油 Jet-A1 及煤油的基本特性比較表，其中編號 CD-0911、T-2599 及 T-2599A 為三款以烷化生質油料為基礎，再參酌國內外航空用油標準 [21-28]，調配成適合渦輪噴射引擎使用之烷化生質航空油料，其基本性質都相同僅差異在微量之添加劑。從特性比較上可以發現烷化油料的密度及動力黏性較小，閃火點略高，而凝固點則與 Jet-A1 差不多，其調配程序為從數種生質油料中挑選出 CD-0911 作測試，再依實驗結果改良為 T-2599 及 T-2599A，而不是一次調配出三種油料作測試。

在實機測試方面，圖三所示為引擎推力訊號量測示意圖，訊號圖中共分四區，分別為啟動段、怠速段、加速段與熄火段。啟動段之凸波係引擎初啟動時為了將燃油點火燃燒，先使用電子馬達轉動壓縮葉片將空氣壓縮至燃燒室，再將瓦斯點火以啟動引擎，待轉速提升至 50000rpm 時，

引擎控制系統會啟動燃油泵浦將燃油供應至燃燒室，待油料開始燃燒穩定後引擎控制系統會將引擎恢復至怠速約 33000rpm，並將控制權轉移至遙控器上，透過遙控器之微調裝置即可作加速之控制，加速段及是以遙控器之微調裝置作加速之控制，每微調一格即調高燃油泵浦的電壓以增加噴油量之方式提升轉速。遙控器上設置一只自動停機旋鈕，當此旋鈕轉至自動停機時，引擎會自動將轉速從怠速提升至 55000rpm 再關機，因此形成最後一道凸波。另外在各轉速的操作穩定性分析上，係以在每一轉速區段擷取至少 150 點之數據，分析其標準差，標準差值越大代表該操作區間之擾動值較大，引擎運轉上較不穩定。為了考量引擎的壽命(每操作 25 小時即需送回德國原廠作零件更換及維護)及操作安全，本研究所量測引擎轉速以不超過 75000rpm 為原則。

使用四種油料之引擎基本操作數據包括啟動溫度、引擎怠速轉速、怠速排氣溫度、關機引擎轉速及關及排氣溫度等數據列於表二，其中影響引擎操作較大的參數為啟動溫度，如果啟動溫度低代表引擎較易啟動，當飛行實機運用預引擎熄火需二次啟動時比較容易成功。

圖四至圖七分別為使用 Jet-A1、CD-0911、T-2599 及 T-2599A 四種油料實測時，所量測之引擎推力隨著轉速提升之比較，由於引擎控制系統對轉速的控制約有 1% 的誤差，為了提高準確度及配合遙控器之微調格度，每條推力曲線量測 10 點，每個量測點均採用前向及後向量測 10 次在平均。所謂的前向量測即是引擎啟動後從怠速依序往高轉速調升並紀錄其推力變化及電壓隨時間之改變，而後向量測即是引擎啟動後待暖機完成後即直接加速至欲量測之最高轉速，再依序降低轉速並紀錄其推力變化及電壓隨時間之改變。

從圖中可以發現使用 Jet-A1 油料時引擎推力變化相當平順接近線性變化，其餘以 T-2599 及 T-2599A 兩種油料之平順度次之，CD-0911 較差，而且由圖形比較可以得知，三種烷化生質油料使用上在引擎低速操作時較為不順，加速性較差。

為了探討四種油料對引擎的加速性能影響，分別依低速、中速及高速三個操作區段做分析，引擎轉速落於 33000 至 40000rpm 歸為低速，引擎轉速在 40000 至 55000rpm 歸為中速，轉速提升至 55000 至 70000rpm 歸為高速。四種油料對引擎在三種操作區段的加速特性影響詳列於

表三，從比較數據得知，在低速時加速性能以 Jet-A1 油料最佳，T-2599 次之而 CD-0911 較差，當轉速提升至中速時，烷化生質油料就有較佳的表現，以 T-2599 油料在中速的表現最好，而三種生質油料與 Jet-A1 做比較誤差在 8% 以內，當轉速持續提升至高速區時，T-2599 及 T-2599A 兩種油料對引擎的加速性影響遠高於 Jet-A1，以 T-2599 提升了近 22.4% 最為可觀。由此得知，雖然烷化生質油料在低速的表現不如傳統的航空燃油，可是在中高轉速卻有相當好的加速性。

渦輪噴射引擎使用烷化生質油料後，操作上除了加速性能需加以分析外，在固定轉速上之操作穩定性亦須詳細探討，操作穩定性分析以訊號標準差最為評估標準。表四及圖八為使用四種油料在不同轉速下之引擎推力訊號標準差比較圖表，從表四跟表三的比較可以發現，Jet-A1 油料在低轉速時其加速性及操作穩定性都很好，而在中高轉速區操作穩定性則以烷化生質油料較佳。

四、結論

從本研究可以發現運用烷化生質航空油料於小型渦輪噴射引擎時，可以獲得以下幾點結論：

1. 在推力測試上可以發現烷化油料在低速的推力連續性上較為不順。
2. 引擎加速性分析方面，低速區以 Jet-A1 油料較佳，而中高速區則以 T-2599 油料最佳。
3. 操作穩定性方面與加速性分析有相同的結果，低轉速時以 Jet-A1 油料較老，而在中高轉速區操作穩定性則以烷化生質油料較佳。

從以上的結論可以得知，如能克服低轉速時的操作特性，運用烷化生質油料作為航空燃油是相當可行的，對能源缺乏問題、農業轉型與環境的污染問題均能有相當的幫助。

誌謝

本研究成果承蒙國科會以 NSC-93-2622-E-230-009-CC3 研究計畫補助，以及合作廠商以理能源科技股份有限公司提供相關研發油料以供測試，特此感謝。

參考文獻

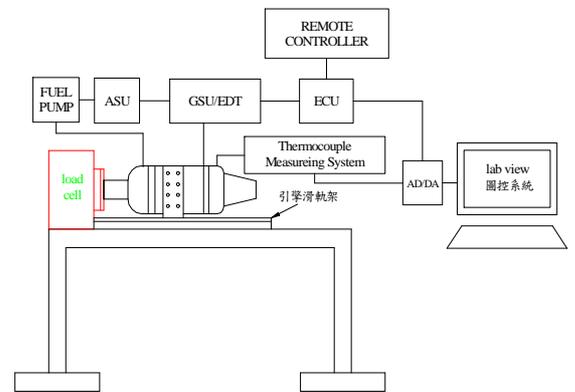
1. M.S. Graboski, R.L. McCormick, "Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines," *Progress in Energy and Combustion Science* vol.24, p 125-164, 1998.

2. C.L. Peterson, G.L. Wagner, D.L. Auld, "Vegetable oil substitutes for diesel fuel," *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 0001-2351/83/2602, p 322-327, 1983.
3. M.H. Hassan, M.S. Salit, "Biofuel as diesel fuel alternative: an overview," *Journal of Energy, Heat and Mass Transfer*, vol. 15, p 293-304, 1993.
4. T.W. Ryan III, L.G. Dodge, T.J. Callahan, "The effects of vegetable oil properties on injection and combustion in two different diesel engines," *JAOCs*, vol.61, no. 10, p 1610-1619, 1984.
5. 陳介武, "Industrial Utilization of Soybean Products and Environmental Protection," 美國黃豆協會 ASA/Taiwan, 2003.
6. Demirbas, A., "Conversion of biomass using glycerin to liquid fuel for blending gasoline as alternative engine fuel" *Energy Conversion and Management* v 41; n 16; p 1741-1748, 2000.
7. 周桂蘭等, "綠色能源—生質柴油國際發展現況" 能源季刊, vol. 31, no. 1, p 99-108, 2001.
8. 徐明璋, 生質柴油的製備及其在柴油引擎上的可行性研究, 國立台灣大學生物產業機電工程研究所碩士論文, 2001.
9. Goering, C.E., et al., "Fuel properties of eleven oils," *Trans. ASAE* 25, 1472-1483, 1982.
10. Karaosmanoglu Filiz, Tuter Melek, Gollu Emre, Yanmaz Sakine, Altintig Esra, "Fuel properties of cottonseed oil" *Energy Sources* v 21, n 9, p 821-828, Nov 1999.
11. 林成原 林修安, "植物油提煉生質柴油之燃料性質" *Proceedings of the AASRC/CIROC/ CSCA Aerospace Joint Conference*, 高雄, March, 2002.
12. 林大惠, "醇類替代燃料之燃燒特性、污染分析、引擎測試及效益評估" 國科會/環保署科技合作研究計畫精簡報告, 2000.
13. 李聰盛等, "生質柴油用於柴油引擎之燃燒極污染特性實驗", 燃燒學會學術研討會, 台北, 2003.
14. 何無忌, 蔣小偉, "超小型燃油氣渦輪引擎開發", 中華民國航空太空學會第 37 屆學術研討會, 台北.
15. 楊儒銘, 小型渦輪噴射引擎動態性能量測與即時模擬, 中華大學碩士論文, 2001.
16. 黃一民, 超小型噴射引擎之性能研究, 國立清華大學碩士論文, 2002.

17. 鄭玉民, 微型渦輪引擎燃油控制系統之設計與數位訊號處理器實現, 中興大學碩士論文, 1999.
18. C. Evans, A. Borrell, D. Ress, "Testing and Modeling Gas Turbine Using Multisine Signals and Frequency-Domain Techniques," J. Engineering for Gas Turbine and Power, 1999.
19. Omar Othman Badran, "Gas-Turbine performance improvements," Applied Energy. Vol. 64, pp. 263-273, 1999.
20. Kenneth Wark, Thermodynamics, McGraw-Hill Inc. 1977.
21. The Aviation Fuel Quality Requirements For Jointly Operated Systems, AFQRJOS, Issue 19, Sep, 2002.
22. 中華民國國家標準 CNS 13429 k61019, "特氏閉杯式閃點試驗法", 經濟部中央標準局, 89年10月24日。
23. 中華民國國家標準 CNS 13289 k61008, "航空燃油凝固點試驗法", 經濟部中央標準局, 82年12月1日。
24. 中華民國國家標準 CNS 3390 k6329, "透明與不透明液體之黏度測定法(動力及公制黏度)", 經濟部中央標準局, 61年10月13日。
25. 中華民國國家標準 CNS 14243 k61052, "煤油及航空燃油發煙點試驗法", 經濟部中央標準局, 87年9月29日。
26. 中華民國國家標準 CNS 14474 k61065, "液態油品密度及比重測定法(數位式密度計法)", 經濟部中央標準局, 89年10月24日。
27. 中華民國國家標準 CNS 14475 k61066, "航空燃油淨燃燒熱計算法", 經濟部中央標準局, 89年10月24日。
28. 中華民國國家標準 CNS 12017 k6916, "原油及液體石油產品比重測定法(比重計法)", 經濟部中央標準局, 79年8月15日。



圖一、小型渦輪噴射引擎照相圖



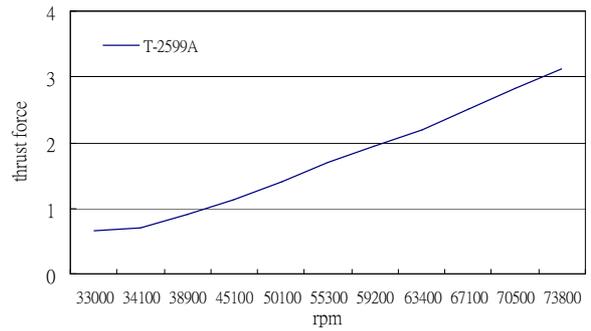
圖二、生質航空燃油測試系統架構圖

表一、油料性比較表

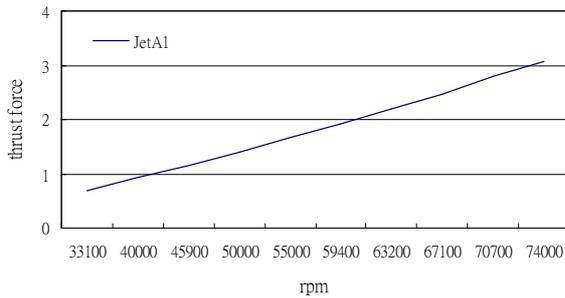
Chemical	CD0911	T-2599	T-2599A	kerosine	Jet-A1
Property					
Density at 15°C, kg/m ³	730	730	730	中油無相關資料	775min 840max
Flash Point, °C	45	45	45	38	40
Freezing Point, °C	-48	-48	-48	-30	-47
Kinematic Viscosity at 40°C, cst	0.95	0.95	0.95	1 min 1.9 max	中油無相關資料
備註		CD0911 加入特殊添加劑	CD0911 加入特殊添加劑		

表三、加速特性比較表

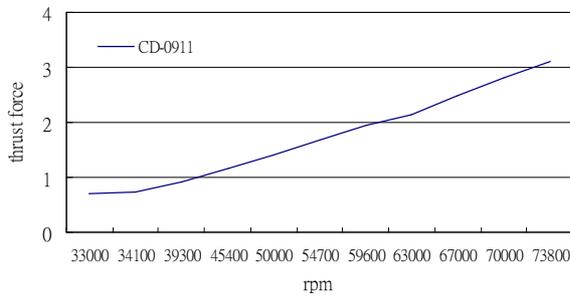
rpm/sec	Jet-A1	CD-0911	T-2599	T-2599A
低速	1277	777	924	857
中速	1216	1178	1316	1224
高速	1189	1246	1456	1299
瞬間加速			5556	4483



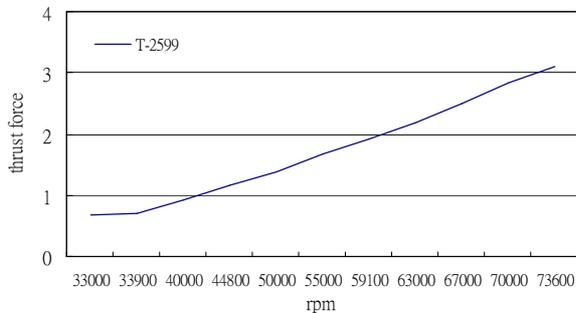
圖七、使用 T-2599A 油料之引擎推力變化圖



圖四、使用 Jet-A1 油料之引擎推力變化圖



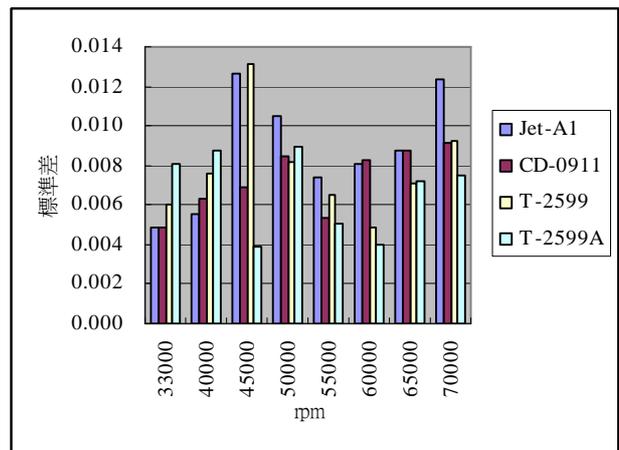
圖五、使用 CD-0911 油料之引擎推力變化圖



圖六、使用 T-2599 油料之引擎推力變化圖

表四、使用不同油料時之引擎訊號標準差比較表

rpm	Jet-A1	CD-0911	T-2599	T-2599A
33000	0.004839	0.00483	0.005981	0.008098
40000	0.005553	0.006311	0.007579	0.008718
45000	0.012633	0.006902	0.013081	0.003917
50000	0.01051	0.008461	0.008146	0.008969
55000	0.00742	0.005377	0.006524	0.005099
60000	0.008105	0.008272	0.004833	0.003946
65000	0.008742	0.008712	0.007123	0.007232
70000	0.012323	0.009111	0.009255	0.007532



圖八、使用不同油料時之引擎訊號標準差比較圖