

南亞技術學院教師專題研究計畫
成果報告

機動車輛廢氣排放最佳化分析研究

計畫編號：教專研 105P-016

計畫類別：個別型計畫

執行年度：105 年度

執行期間：105 年 1 月 1 日至 105 年 12 月 31 日

計畫主持人：王月花

執行單位：通識教育中心

研發小組審查：同意結案不同意結案 簽名：

(審查人不得與計畫主持人相同)

中華民國 105 年 12 月 31 日

機動車輛廢氣排放最佳化分析研究

王月花

通識教育中心

摘要

本研究計畫以台灣中油及台塑石油兩公司市售之 92 無鉛汽油及 95 無鉛汽油做為機車汽油引擎實驗用燃料。實驗燃料油品均以四行程機車引擎以不同引擎轉速模式操作條件下進行有關機車引擎燃料與其油燃燒特性探討，包括引擎性能及汙染排放等測試，機車排氣採樣方法針對每種燃料引擎所排放廢氣以 RIKEN KEIKI RI-803 進行直測 CO、HC 及 CO₂ 與分析。第一部分針對引擎啟動控制變因實驗，引擎的轉速控制在 500RPM 至 1700RPM 之間，引擎溫度控制在 25°C 至 40°C。由此實驗結果可以了解原引擎之引擎啟動控制變因、燃料油品與汙染排放的特性。並使用實驗設定之油品導入引擎進行實驗研究，引擎實驗參數包含(1)引擎排氣量(CC)(100、125、150)等三個引擎排氣量，(2)油品引擎溫度(°C)(25、30、35、40)等四個引擎溫度，(3)引擎轉速(RPM)轉速(500、800、1000、1700)等四個引擎轉速，(4)室內溫度(°C)(15、20、25、30)等四個室內溫度來做為本階段的實驗參數，並利用田口方法來求得最佳的製程組合。

壹、緒論

一、研究動機

機車排放廢氣中法規管制的污染物主要為 CO 和 HC。其中 CO 為無色、無臭物質，為都會區空氣污染物濃度較高且最具毒性的氣體，另一個污染物 HC 主要來源包括：油箱及化油器揮發(25%)、曲軸箱吹漏氣(30%)廢氣排放(55%)，HC 濃度低時會對呼吸系統產生刺激，濃度較高時則會對中樞神經系統產生影響。CO₂ 是溫室氣體之一，如果大氣中的 CO₂ 含量過多，熱量難流失，地球的平均氣溫也會隨之上升產生溫室效應。有鑑於機車廢氣對於人體的危害，本研究以田口方法進行驗證實驗並與預測之結果進行驗證，以獲得參數最適化，期使瞭解廢氣量對於空氣汙染排放量的影響，作為日後制訂管制策略之參考[1]。

二、研究目的

工業化社會衍生之環境問題中，空氣汙染為當前最嚴重的汙染問題之一，其中對空氣品質影響最大之汙染來源首推交通運輸工具所排放之廢氣，尤其是各大都市人口密集，道路面積有限，造成上下班塞車情形相當嚴重。機車由於體積小、停車方便，且機動性高，因此大部分民眾以機車來代步解決交通問題；然而台灣地區人稠地狹，停車大不易，而機車簡單易學、機動性高、停車方便、售價不貴等特性，使得民眾接受度高，因此機車成為台灣地區最普遍的個人交通工具。根據交通部統計[2]，2009 年 5 月底台灣地區機車數量登記總數約 1,439 萬輛，佔機動車輛的 68.2%，而重型機車

及輕型機車則分別佔機器腳踏車總數之49.4%及18.7%。台灣地區機車密度為每平方公里385輛，機車密度為美國的550倍、英國的74倍、中國大陸的44.3倍、日本的10.5倍。可見其普及性之高，因此數量龐大之機車成為台灣地區交通之特殊情況，機車所排放之廢氣成為都會地區主要空氣污染來源，亦成為我國環保署針對交通污染管制之主要對象，但機車每年所排放之廢氣，除了造成空氣污染、地球暖化外，對人體健康更會產生危害。近年來國人環保意識不斷提升，對於生活環境品質的要求提高，故在機車密度仍無法降低之時，降低機車污染的排放已成為目前必須努力的目標。為了減少污染性廢氣的排放，台灣已於2000年全面禁止油品中添加含鉛化合物，為彌補因停用含鉛化合物所造成辛烷值的降低，必須加入含氧添加劑。烷化油(Alkylate)，俗稱「理想汽油」，通常用於航空汽油，由於Alkylate具有較高比例之烷化物，且硫、苯及總芳香烴含量很低，可減少汽油中不利環境的高蒸汽壓脂族烴及烯屬烴成分，同時亦可提升汽油辛烷值。

三、研究範圍

研究範圍為應用田口方法和四行程噴射引擎及四行程化油器引擎所排放廢氣研究之比較，依據業界提供的引擎排氣量(CC)、油品、引擎溫度、引擎轉速及室溫的變化，搭配田口 $L_{16}(4^5)$ 直交表，作為五個控制因子搭配四個水準的實驗配置，以求的最佳組合。並將雜音因子(S/N)配置於直交表之外側，將此製程最佳化之品質特性，分別選定為(1)引擎排氣量(CC)，(2)油品，(3)機車廠牌，(4)引擎轉速(RPM)，(5)引擎溫度(°C)，(6)室溫(°C)，(7)行程別，以探討各參數之相對關係及最佳參數組合，以建立最佳化之引擎轉速所排放廢氣。

四、名詞解釋

- (一) ANOVA 分析：主要為探討連續型(Continuous)資料型態之因變量(Dependent variable)與類別型資料型態之自變量(Independent variable)的關係，當自變項的因子中包含等於或超過三個類別情況下，檢定其各類別間平均數是否相等的統計模式。在統計學中，變異數分析(ANOVA)是一系列統計模型及其相關的過程總稱，其中某一變量的變異數可以分解為歸屬於不同變量來源的部分。
- (二) 汽油引擎：是使用汽油作為燃料的內燃機，分為化油器式和汽油噴射式。
- (三) 機車廢氣：機車在行駛的時候所排放出來之氣體，排放出有害的氣體不只是對環境造成危害，對人體也有一定的影響。

貳、文獻探討

[3]科學家們日前發出警告，若過度開採自然資源，毫無節制的浪費資源，那麼人類終將無資源可用。石油能源大量被人類採用，消耗的速度相當驚人，於是油價更是越來越高漲。各大汽車廠推出了電動車、油電混合車，但仍屬是汽油車占大部

分。通常要購買車輛時，大部分會以一公升汽油行駛多少公里來比較車輛的油耗情形，並將此來作選購的其中一個重要的考量。多汽車廠商並在廣告中直接顯示該款的車輛的油耗情形來吸引顧客購買。一公升汽油能夠行駛的距離中，有多少的汽油是真正在引擎中燃燒轉化為動能而消耗在所謂的行駛的里程，又有多少汽油是消耗在怠速中(車輛停止狀態下但是引擎依然在運轉中)，甚至行駛中在駕駛行為的油門反應下產生多少油耗。[4]動力系統是一個整合電力與機械的領域，引擎噴射系統發展來達到馬力及降低污染，再用油水乳化燃料降低因噴射系統加入後 NOX 的提高，讓引擎運轉於最省油經濟的條件，使追求速度與降低污染兩者兼顧。研究方法與目標，噴射系統依據引擎運轉的需求精準提供油料與點火控制，此油料是加入油水乳化 5%、10%及 15%的純水並乳化，在固定的噴油時間與噴油量及固定點火角的控制中，有效的降低排氣中因高溫所產生的 NOX，結果 BSNOX 分別減少 22.1%、30.6%及 42.4%。但在商品化時，必須針對點火角度和噴油量依據各種運轉條件及油料而調整校對[5]。

參、研究方法

一、實驗設計

本實驗以台灣中油及台塑石油兩公司之市售92無鉛汽油及95無鉛汽油做為機車汽油引擎實驗用燃料，以四行程機車引擎以不同引擎轉速模式操作條件下進行有關機車引擎燃料與其油燃燒特性探討。其次使用實驗設定之油品導入引擎進行實驗研究，引擎的實驗參數部分，包含(1)引擎排氣量(CC)(100、125、150)等三個引擎排氣量，(2)油品引擎溫度(°C)(25、30、35、40)等四個引擎溫度，(3)引擎轉速(RPM)轉速分成(500、800、1000、1700rpm)等四個引擎轉速，及(4)室內溫度(°C)(15、20、25、30)等四個室內溫度來做為實驗參數。最後並利用田口方法來求得最佳的製程組合，期能獲得引擎排氣量最佳實驗因子為組成，以建立最佳化之引擎轉速所排放廢氣，能達成最佳引擎排氣量所排放廢氣之穩定效果。實驗流程示意圖如圖1所示。

二、實驗設備

本研究之實驗設備可分為兩部份，即機車引擎及其附屬設備(廢氣產生源)，與微粒物質量測儀器及其他附屬設備。本實驗採用之機車汽油引擎為三陽、光陽兩種廠牌，四種型式引擎為水平式四行程頂上凸輪軸式(Over Head Camshaft, OHC)引擎。其中以GT125式水平式四行程頂上凸輪軸式(Over Head Camshaft, OHC)引擎排氣量為124.6 c. c.，壓縮比為11.2:1，如圖2所示。本引擎台加裝馬力試驗機以控制引擎操作，馬力試驗機以水冷渦電流連線控制，控制參數包含引擎轉速與扭力。微粒物質量測儀器使用日本制RIKEN KEIKI RI-803氣體分析儀，如圖3所示。

三、實驗最佳化分析法(田口方法)

本次模擬實驗中基於影響參數眾多為得到較佳設計參數，使用田口玄一博士所研究田口氏品質設計方法(又稱穩健參數設計)，來進行數據上分析(業界稱為實驗計畫法)(Design of Experimental ; DOE)。田口穩健設計法，可獲致多重加工品質特性的參數最適化。了解各個參數對加工之影響程度後，進行驗證實驗並與預測之加工結果進行驗證，了解在不同加工要求下加工參數的選用。其最重要目的是以有限的實驗，來獲得最多的實驗結果並有效分析之，因此田口實驗計畫法是一種有效率之實驗設計法則。田口方法流程圖如圖4所示。

肆、結果與討論

一、引擎控制變因

引擎依據原廠資料來控制引擎的轉速及扭力，模擬實際行車狀況，相關特性參數如表 1 所示，本研究實驗選定將機車引擎為怠速模式故汽油引擎轉速主要為 1,800 rpm (Idling)。

二、引擎啟動控制變因

引擎啟動方式大致上可分為冷啟動(Cold Start)及熱啟動(Hot Start)，本研究將冷啟動定義為將引擎冷卻至室溫情況至少冷卻一小時以上。熱啟動則是引擎運轉一定時程後關閉引擎讓機車停止運轉 5 分鐘後再重新啟動則為熱啟動模式。

三、燃料油品

本實驗之油品選用市售台灣中油及台塑石油兩公司之 92 無鉛汽油 (92-Leadfree Gasoline) 及 95 無鉛汽油 (95-Leadfree Gasoline)，分別按(不同體積比例摻配)作為本研究所使用之燃料。本實驗各燃料油品編號及摻配比例如表 2 所示，各燃料油品分析及相關數據如表 3 所示。

四、機車採樣操作流程

本研究之機車廢氣採樣系統如圖 5 所示。將實驗設定之油品添加至引擎進行運作燃燒，採樣進行時依據本研究設定全程運轉型態怠速 15 分鐘，尾端連接一密閉之採樣管線，進行機車排氣全程採樣，利用攝影機將全程顯示面板數據變化情形進行錄製，再將錄製情況每 5 秒 HC、CO 與 CO₂ 濃度變化情形進行數據整理。每項油品採樣設計分別為冷啟動模式及熱啟動模式進行分別採樣數據分析如圖 6 所示。

五、機車引擎實驗用油含量特性

本研究共計使用 10 種實驗汽油燃料，如表 4 所示。包含(1) 市售 92 無鉛汽油及 95 無鉛汽油(92-LFG 及 95-LFG)、(2)市售中油公司及台塑公司之 92 無鉛汽油及 95

無鉛汽油分別以不同比例摻配。

六、田口實驗直交表與實驗數據

如圖 4 所示本研究田口方法之流程圖，有關直交表之選擇及品質特性之量測之設計，以及對於四個控制因子的最佳化實驗將使用 $L_{16}(4^5)$ 直交表，作為五個控制因子搭配四個水準的實驗配置，並將雜音因子(S/N)配置於直交表之外側，實驗配置表及實驗直交表如表 5、表 6 所示，將此製程最佳化之品質特性，選定分別為引擎排氣量(CC)、油品、機車廠牌、引擎轉速(RPM)、引擎溫度(°C)、室溫(°C)、與行程別，以探討各參數之相對關係及最佳參數組合。如表 7 所示。

由表 8 S/N 對應圖 7 可比較出控制因子組合為 A1B3C3D1E2 時品質特性最好，如依影響力大小來排列為 C3E2B3A1D1。在此可先利用”一半準則”算出 RN(分級數字)的預測值。

一般常用一半準則就是將具影響力的前半數因子當做重要因子，其它乘餘因子可視為不重要因子，此時 B、E 可視為不重要因子，其預測方式如下：

S/N 預測值= $\bar{y}+(AA-\bar{y})+(BB-\bar{y})+(CC-\bar{y})+(DD-\bar{y})+\dots\dots\dots(1-1)$ ，式(1-1)中

AA. BB. CC. DD. 表最佳組合， \bar{y} 表 S/N 比的平均值。

依一半準則則選出本實驗中具最影響力之 3 大因子為 C3A1D1。所以該實驗最佳設計 S/N 的預測值計算值如下：

$$\begin{aligned} S/N &= 18.85 + (19.8 - 18.85) + (19.58 - 18.85) + (19.53 - 18.85) \\ &= 21.21 \end{aligned}$$

S/N 的預測值計算值除了與第 3 組實驗值相近外，皆比直交表(L_{16})表 6 其餘 15 組實驗大，這表示品質特性可改善。

如表 9 所示，為將上述最佳設計實驗與原始設計結果比較。依引擎排氣量(CC)、油品、機車廠牌、引擎轉速(RPM)、引擎溫度(°C)、室溫(°C)、與行程別，預設原始最佳設計組合為 A3B1C3D3E4，依一半準則為(C3A3D3)去求原始最佳設計 S/N 的預測值計算值

$$\begin{aligned} S/N &= 18.85 + (19.85 - 18.85) + (19.53 - 18.85) + (19.46 - 18.85) \\ &= 21.09 \end{aligned}$$

其中原設計組合為 $L_{16}(4^5)$ 直交表中雖然沒有，但其 S/N 預測值大於平均值，表示可採用。

預設原始最佳設計組合為 A3B1C3D3E4

實驗最佳設計組合為 A1B3C3D1E2

依上述計算結果得知實驗設計比原始最佳設計佳，並高於 S/N 平均值，其結果亦屬合理。

伍、結論

本研究對機動車輛廢氣排放之田口法分析可獲得以下結論：

(1) 本研究最佳設計組合為 A1B3C3D1E2(125CC引擎排氣量、95 (油品)台塑、35°C引擎溫度、1700RPM引擎轉速、20°C(室溫))。

(2)具最影響力之3大因子為C3A1D1(35°C引擎溫度、125CC引擎排氣量、1700RPM引擎轉速)。

參考文獻

[1]陳志銘“市售汽油與汽油添加劑對機車引擎怠速排放空氣污染物之影響”嘉南藥理科技大學環境工程與科學系暨研究所碩士論文，中華民國98年6月

[2]交通部全球資訊網-交通統計-機動車輛登記數 (2008)
<http://www.motc.gov.tw/mocwebGIP/wSite/lp?ctNode=160&CtUnit=92&BaseDSD=7&mp=1>

[3]王水淋“車輛駕駛行為與油耗的探討”國立高雄第一科技大學系統資訊與控制研究所碩士論文，中華民國101年6月

[4]陳仲穎“低污染機車引擎與燃料技術研”究國立中山大學機械與機電工程研究所博士論文，中華民國101年6月

[5]陳志強“汽油油品及引擎排放廢氣中金屬元素之特徵”國立成功大學環境工程學系碩士論文。

圖表

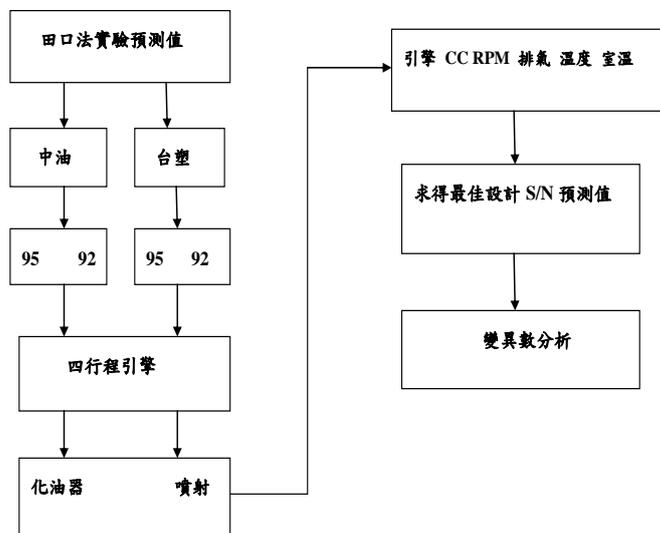


圖1：實驗流程示意圖

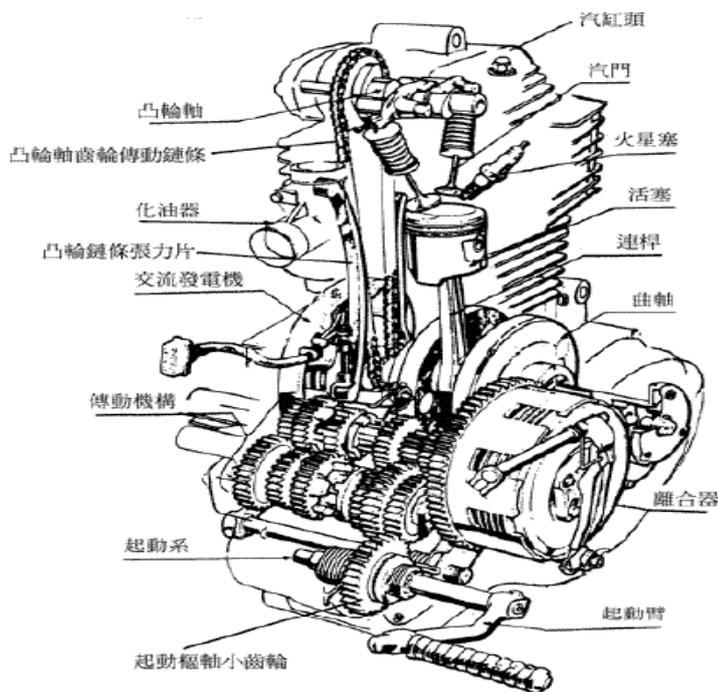


圖 2：引擎之構造(中國石油 1989)



圖3：RIKEN KEIKI RI-803 氣體分析儀

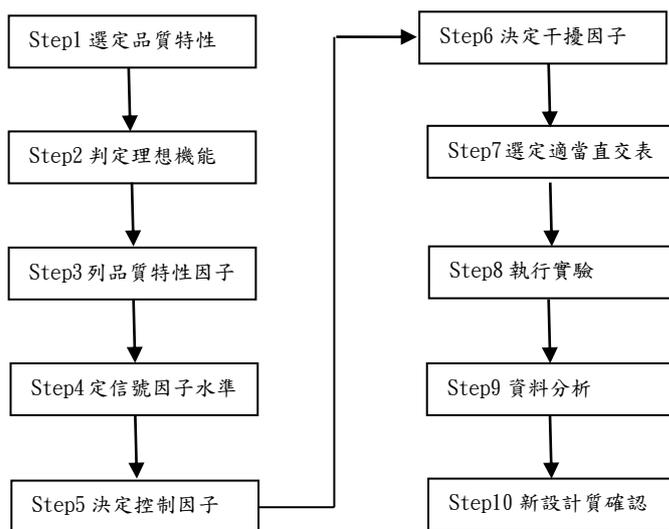


圖4：田口方法流程圖

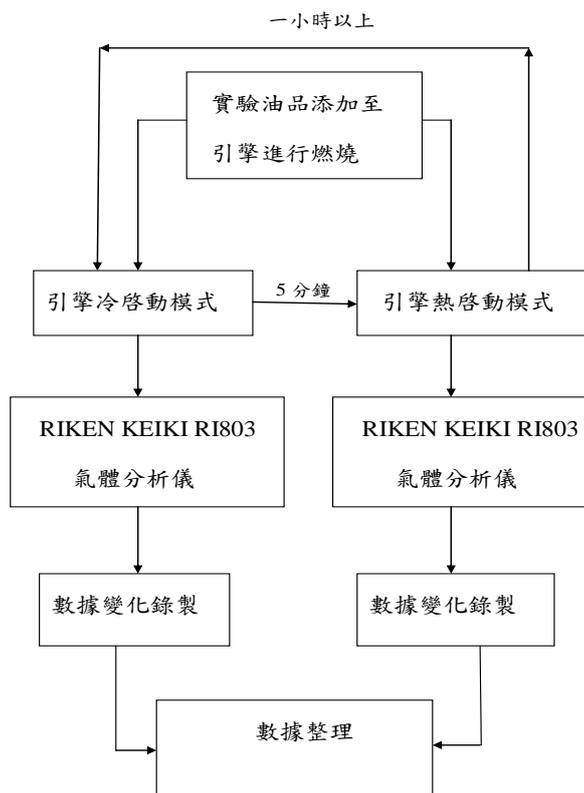


圖5：OHC 引擎廢氣採樣系統

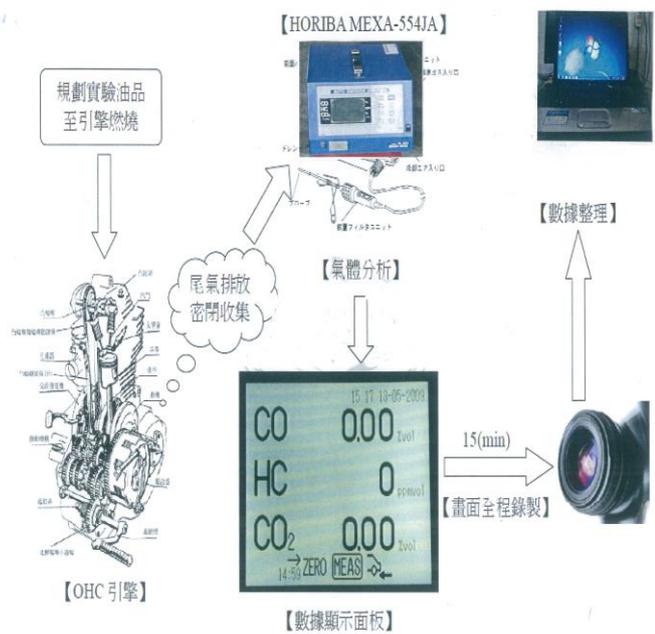


圖6：採樣模式及數據分析流程圖

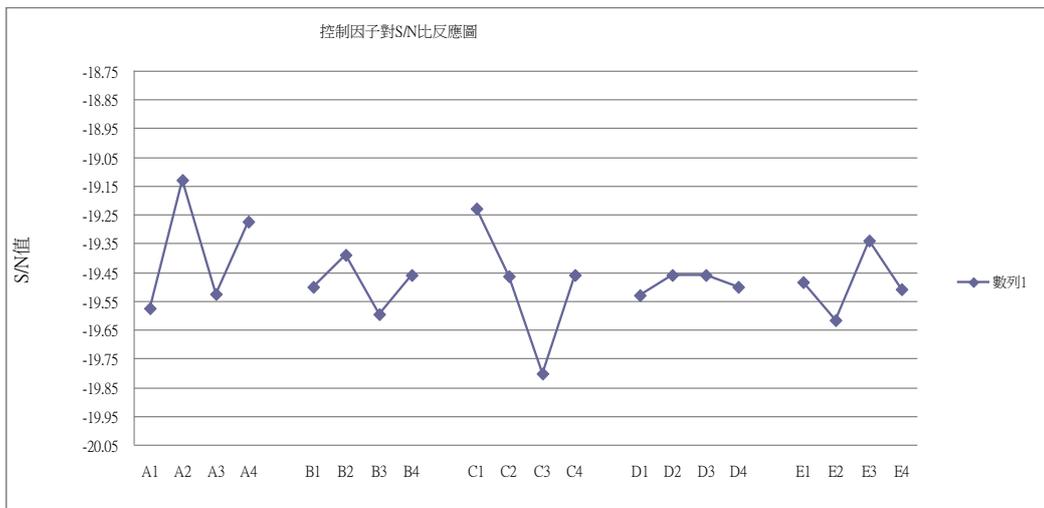


圖7：RN(分級數字)控制因子對S/N比反應圖

表1：機車引擎特性參數

車速(km/hr)	引擎轉速(rpm)	車輪扭力(kg-m)	車輪轉速(rpm)	車輪扭力(N-m)
0 (Idling)	1800	0	0	0
30	5771	0.75	391	0.688
50	6275	0.71	652	0.725

表2：各燃料油品編號及其摻配比例

油品	體積比例(Vol%)		油品編號
	C公司油品	F公司油品	
市售92無鉛汽油	25	75	92-C25F75
	50	50	92-C50F50
	75	25	92-C75F25
市售95無鉛汽油	25	75	92-C25F75
	50	50	92-C50F50
	75	25	92-C75F25

表3：燃料油品分析結果及檢驗方法

測試項目	燃料油品編號						檢驗方法
	92			95			
	C25F75	C50F50	C75F25	C25F75	C50F50	C75F25	ASTM
密度 (g/ml)	0.7416	0.7457	0.7497	0.7434	0.7451	0.7467	D4052
雷氏蒸氣 壓 (kpa)	52.4	53.0	53.9	51.5	52.3	53.0	D5191
含硫量 (mg/ml)	48.8	47.4	46.9	71.8	63.2	57.0	D5453
總芳香烴含 量 (vol. %)	24.8	26.66	28.92	25.70	26.55	27.37	D4420
苯含量 (vo. 1%)	0.54	0.47	0.40	0.71	0.61	0.50	D4420
總含氧量 (wt. %)	1.19	1.37	1.52	0.59	0.89	1.18	D4815
烯烴含量 (g/ml)	12.24	12.35	12.62	16.06	14.68	13.37	D6730
蒸餾溫度 10(vo. 1%) 溫度 (°C)	57.0	55.1	55.4	55.4	55.2	55.2	D86
蒸餾 50 (vo. 1%) 溫度°C	95.6	93.2	92.0	93.3	92.3	91.8	D86
蒸餾 90 (vo. 1%) 溫度 (°C)	167.5	168.4	169.6	172.1	172.6	172.4	D86

蒸餾最終溫度 $^{\circ}\text{C}$	197.5	200.1	204.7	199.1	203.1	206.0	D86
---------------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-----

表4：市售油品編號

油品 (Vol.%)	添加比例	油品編號
市售92無鉛汽油	無添加 (原市售油品)	C92-LFG F92-LFG
市售95無鉛汽油	無添加 (原市售油品)	C95-LFG F95-LFG

表5：實驗配置表

實驗因子		Leve 1	Leve 2	Leve 3	Leve 4
A	引擎排氣量(CC)	125	100	125	150
B	油品	95	92	95	92
C	引擎溫度($^{\circ}\text{C}$)	25	30	35	40
D	引擎轉速(RPM)	1700	800	500	1000
E	室溫($^{\circ}\text{C}$)	15	20	25	30

表6：L₁₆(4⁵)直交表的實驗實驗配置表

實驗編號	引擎排氣量(CC)	油品	引擎溫度($^{\circ}\text{C}$)	引擎轉速(RPM)	室溫($^{\circ}\text{C}$)
	A	B	C	D	E
1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2
3	1	3	3	3	3
4	1	4	4	4	4
5	2	1	2	3	4
6	2	2	1	4	3
7	2	3	4	1	2
8	2	4	3	2	1

9	3	1	3	4	2
10	3	2	4	3	1
11	3	3	1	2	4
12	3	4	2	1	3
13	4	1	4	2	3
14	4	2	3	1	4
15	4	3	2	4	1
16	4	4	1	3	2

表7：實驗數據

實驗因子	引擎 CC	油品	廠牌	轉速	室溫	引擎溫度	HC (PPm)	CO (%)	CO2 (%)	行程別
1	125	中油 95	光陽	1700 rpm	15	25	70	0.11	3.30	四行程噴
2	100	中油 92	光陽	800 rpm	20	30	287	0.23	8.29	四行程化
3	125	台塑 95	三陽	500 rpm	25	35	70	0.03	0.50	四行程化
4	150	台塑 92	光陽	1000 rpm	30	40	56	0.50	11.30	四行程化

表8：S/N比一覽表

	引擎 CC	油品	引擎溫度	引擎轉速	室溫
實驗編號	A	B	C	D	E
水準 1	-19.58	-19.50	-19.23	-19.53	-19.48
水準 2	-19.13	-19.39	-19.46	-19.46	-19.62
水準 3	-19.53	-19.60	-19.80	-19.46	-19.34
水準 4	-19.27	-19.46	-19.46	-19.50	-19.51
EFFECT	0.44	0.21	0.57	0.07	0.27
RANK	2	4	1	5	3

表 9：預設原始及實驗最佳設計組合對照表

預設原始最佳設計組合 A3B1C3D3E4				
A3	B1	C3	D3	E4
125cc 引擎排氣量	95 (油品) 台塑	35°C(溫度)引擎溫度	500 (rpm)引擎轉速	30°C(室溫)
實驗最佳設計組合 A1B3C3D1E2				
A1	B3	C3	D1	E2
125cc 引擎排氣量	95 (油品) 台塑	35°C(溫度)引擎溫度	1700(rpm)引擎轉速	20°C(室溫)