

新型噴油嘴實驗平台建構與測試

張舜長¹ 楊安石² 侯孟良³ 詹宗興⁴

¹大葉大學機械與自動化系

51591 彰化縣大村鄉山腳路 112 號

²台北科技大學能源與冷凍空調工程系

10608 台北市忠孝東路 3 段 1 號

³大葉大學車輛工程研究所

⁴大葉大學機械工程研究所

51591 彰化縣大村鄉山腳路 112 號

摘要

本實驗主要研究機車電子噴射引擎上之新型噴油嘴總成，觀察其噴油形狀並量測流率，了解該噴油嘴總成噴油特性。首先選定搭載在機車電子噴射引擎的噴油嘴總成為研究對象，建立噴油嘴總成性能檢測實驗平台，量測噴油嘴總成基本性能資料，詳細分析其額定操作狀況下燃油噴射過程的機制。

新型噴油嘴總成內主要構成元件包括燃油幫浦模組與噴射器兩部份，工作原理為給新型噴油嘴總成驅動電壓使電磁閥產生推力，進行壓縮行程而將空氣排出。隨即關閉閥門維持艙內相對高壓，並利用高壓推動汽油，由噴口射出；當停止驅動新型噴油嘴總成，噴射結束，利用彈簧的作用回復壓縮器原始狀態。因應實際需求，亦模擬新型噴油嘴總成工作電壓改變參數下，新型噴油嘴總成噴射效能影響，作為未來新型機車噴射系統技術開發參考。

關鍵詞：燃油幫浦，噴油嘴

Characteristics of a DCP

SHUN-CHANG CHANG¹, AN-SHIH YANG², MENG-LIANG HOU³ and ZONG-SING JHAN⁴

¹*Department of Mechanical and Automation Engineering, Da-Yeh University*

112, Shanjiao Rd., Dacun, Changhua, Taiwan 51591, R.O.C.

²*Department of Air-conditioning and Refrigeration Engineering, National Taipei University of Technology*

No. 1, Sec. 3, Chung-hsiao E. Rd., Taipei, Taiwan 10608, R.O.C.

³*Department of Vehicle Engineering, Da-Yeh University*

⁴*Department of Mechanical Engineering, Da-Yeh University*

112, Shanjiao Rd., Dacun, Changhua, Taiwan 51591, R.O.C.

ABSTRACT

A DCP (discharge pump) consists of two major components: a fuel pump module and an injector. With a prescribed voltage waveform imposed on the DCP, the inner solenoid valve is first activated to start the compression stage for expelling air bubbles. Next, the valve is immediately

closed to increase the high pressure within the pump to force the gasoline passing through the nozzle. In response to a shutdown of electrical power, the DCP is restored to its original resting state at the end of the ejection stage. A liquid gasoline jet with adequate inertia momentum will overcome the liquid surface tension and viscous force for accomplishing the droplet injection. In the present study, we successfully constructed a testing and measurement platform to determine the baseline mass-flow rate characteristics of a DCP device. To establish a useful database for the future development of injection technology for motorcycles, this research was also extended to explore the variations in injection performance at different environmental pressure, temperature, and battery voltage settings.

Key Words: fuel pump, injector, injection performance

一、前言

由於台灣地狹人稠的環境，加上機車價格便宜、體積輕巧、機動力高、維修方便、較汽車節省能源等等眾多優點下，因此機車成為台灣地區目前最大眾化的交通工具，根據交通部資料顯示 [2]，到民國 97 年 2 月為止，一共登記有 13,996,900 輛。

然而近幾年來，空氣污染、溫室效應、能源危機的情形下，為了降低燃油的使用，世界各大機車工業廠商，皆投入噴射引擎的研發，但至今電子噴射機車的研發仍有部分未解決的問題，如電子噴射機車之引擎參數回饋、維修技術的不普及、噴油嘴最佳噴油控制時間等等問題，因此影響了電子噴射機車市場佔有率的潛力。

雖然電子噴射引擎能降低機車油耗問題，但一部真正具有效能與環保的電子噴射機車需要更精準的噴油控制，如噴油嘴的噴射時間與噴射霧化狀態，都是值得發展的方向。

在燃油控制系統中，唯有準確量測得知新型噴油嘴特性，才能有效的將噴射效能發揮，達到真正的節省能源目的。

(一) 新型噴油嘴總成作動原理及構造

新型噴油嘴總成由線圈控制，而電磁線圈電壓電流開啓與關閉是由車用電子控制單元 (electronic control unit, ECU) 控制的。ECU 根據感知器的回饋訊號判斷處理後再送出噴油脈寬訊號控制新型噴油嘴總成開啓和關閉時間。新型噴油嘴總成電磁線圈通電後產生磁場，在磁場作用下柱塞克服彈簧力而被吸起，帶著閥體離開閥座，燃油則在壓力下從噴嘴口噴出；當電磁線圈斷電時磁場消失，柱塞在彈簧力作用下進行下移，閥體頂著閥座封閉噴嘴，即停止噴出。

噴油嘴的單位流量為 [6]：

$$m_f = S_m \cdot \alpha_m \cdot \sqrt{2\rho_m \cdot \Delta p_m} \quad (1)$$

其中：

m_f 為燃油的質量流量 (g)；

S_m 為空隙的截面積 (mm^2)；

α_m 為燃油流過空隙的流量係數；

ρ_m 為燃油的密度；

Δp_m 為空隙兩端的壓力差 (Kpa)，該壓力差由燃油調節器保持恆定。

對於特定型號的噴油嘴單位時間的流量為常數 m_f ，因此每次的供油量為：

$$m_a = T_i \cdot m_f \quad (2)$$

ECU 只需控制每週期的開啓時間 T_i 就可以控制燃油供給量。式 (1) 的流量特性只是假設電磁閥始終處於最大升程，沒有考慮到電磁閥從通電到針閥升程最大這一段時間內間隙截面積 S_m 以及燃油流過空隙時的流量係數 α_m 的變化，因此式 (1) 稱為噴油嘴的靜態流量特性。相對於靜態流量特性，噴油嘴總成通電噴油脈寬與噴油量的關係就稱為噴油嘴的動態流量特性。一般情況下，噴油嘴的流量特性指的是其動態流量特性。

圖 1 中 [2] t_1 為電磁閥通電到針閥離作時的時間，稱為閥門開啓延遲。 t_2 針閥離作至針閥作動到極限位置的時間，稱為開啓時間， t_3 為電磁閥噴油脈寬下降時刻至針閥落座所用的時間，稱為關閉反應時間。

根據馬克斯威爾和磁路歐母定律可以得出 [3]：

$$F = \frac{2\pi\mu_0 \cdot i^2 \cdot N^2}{\left(\frac{4\delta_1}{d} + \frac{\delta_1}{h_1}\right)} \quad (3)$$

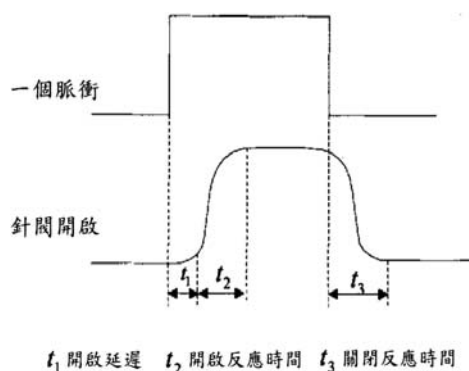


圖 1. 噴油嘴總成通電時間與閥門之關係圖 [2]

$$i = V \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (4)$$

F 為電磁吸引力；

μ_0 為真空磁導率；

i 為電磁線圈內的電流 (A)；

N 為線圈的圈數；

V 為線圈兩端的電壓 (V)；

R 為線圈的電阻 (Ω)， $\tau = \frac{L}{R}$ 。

以式 (3)、式 (4) 可以看出，噴油脈寬開始後，電磁線圈產生磁場，當電磁吸引力超過針閥重力、彈簧作用力、燃油壓力以及摩擦力的合力時，針閥開始作動加速。

新型噴油嘴總成基本上可分為燃油幫浦模組 (fuel pump module) 與噴射器 (injector) 兩部份硬體，而前者在機能上又包含燃油幫浦 (fuel pump) 和調節器 (regulator) 兩項。圖 2 所示為新型噴油嘴總成構造實物照片。



圖 2. 新型噴油嘴總成組成實物照片

(二) 傳統噴油嘴總成與新型噴油嘴總成比較

新型噴油嘴總成燃油噴射系統與其他傳統燃油噴射系統架構。兩者相比較，傳統噴射系統一般將汽油壓力泵放置於油箱內部以提高汽油供給壓力，而新型噴油嘴總成則改為與燃油噴嘴合一，以降低油門反應時間差及減少高壓汽油管路外露可能造成的危險，並可以更精確的控制噴油量、時間長短及霧化程度。

新型噴油嘴總成電子噴射引擎噴油嘴在噴射時，由噴射模組進行保持油壓和噴射動作，新型噴油嘴噴射引擎架構如圖 3 所示 [1]。新型噴油嘴總成較傳統噴油嘴總成之優點，如表 1 所示 [1]。傳統噴油嘴總成與新型噴油嘴總成作動比較架構如圖 4 所示 [1]。

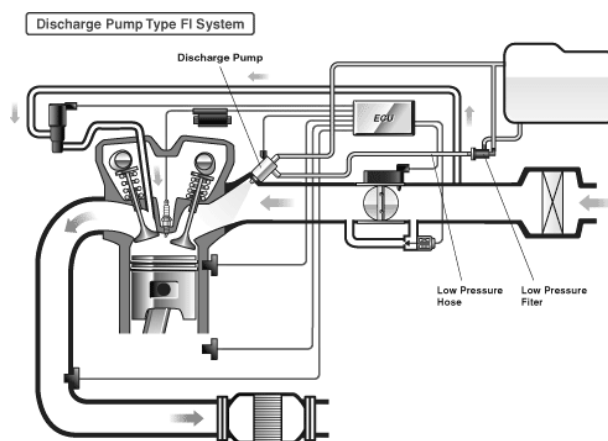


圖 3. 新型噴油嘴電子噴射引擎架構 [1]

表 1. 新型噴油嘴總成特性之優點[1]

(1) 低消耗電力	-當新型噴油嘴總成進行擠壓和噴射時才進行通電動作。 -使用電容器進行驅動。
(2) 低系統成本	-新型噴油嘴總成系統結合汽油幫浦、油壓調節器、噴射器。 -節省高壓汽油幫浦，汽油箱外型可大幅度改變。 -節省油路長度。 -使車輛產生低耗能輸入高動力輸出。
(3) 高耐溫性	-唯一汽油循環設計，使新型噴油嘴總成耐熱溫度較傳統噴油嘴總成高。 -使用電容驅動。
(4) 精準的噴射控制	符合歐洲三期環保、台灣五期法規。

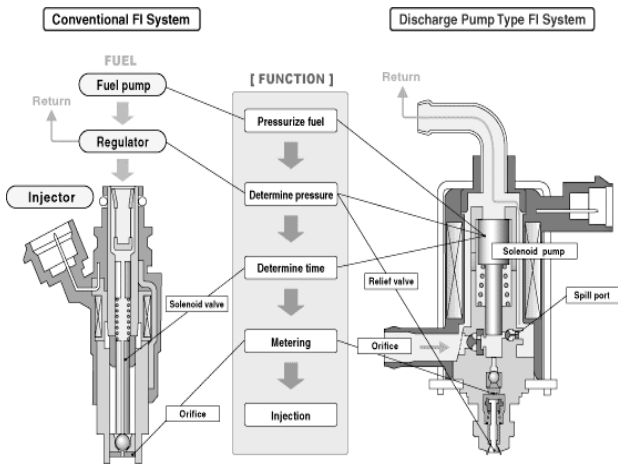


圖 4. 傳統與新型噴油嘴總成作動比較架構 [1]

其中包括燃料儲槽、管理新型噴油嘴開/關之驅動控制模組（可模擬電瓶之電壓调控）、真空箱（新型噴油嘴之環境真空負壓调控）、量杯/電子秤以累計且量測單位時間噴油嘴總成噴出燃料質量，並推导出質量流率，在電子秤上裝防風罩以避免氣流流動以及霧化液體溢出。

二、研究方法

(一) 新型噴油嘴總成平台架構

本研究以新型噴油嘴流量特性量測研究為主。圖 5 中列出已規劃/建立之噴油嘴總成元件測試平台與量測系統。

另為了解不同負載條件之噴射效能，亦採用全域式 CCD 放大倍率直接照相與 5-W 氬離子雷射光頁螢光粒子激發顯相兩種方法，以觀察額定操作狀況下噴射流場結構，如圖 6 所示。

實驗中為與實際相同，使用無鉛 95 汽油為測試液體。本計畫的實驗測試環境溫度，亦做室溫 25°C 恆溫控制。另

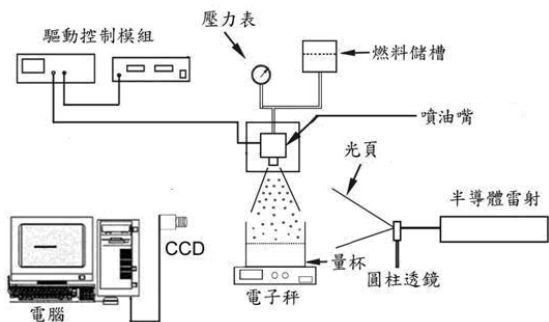


圖 5. 噴油嘴總成元件測試平台與量測系統架構示意圖

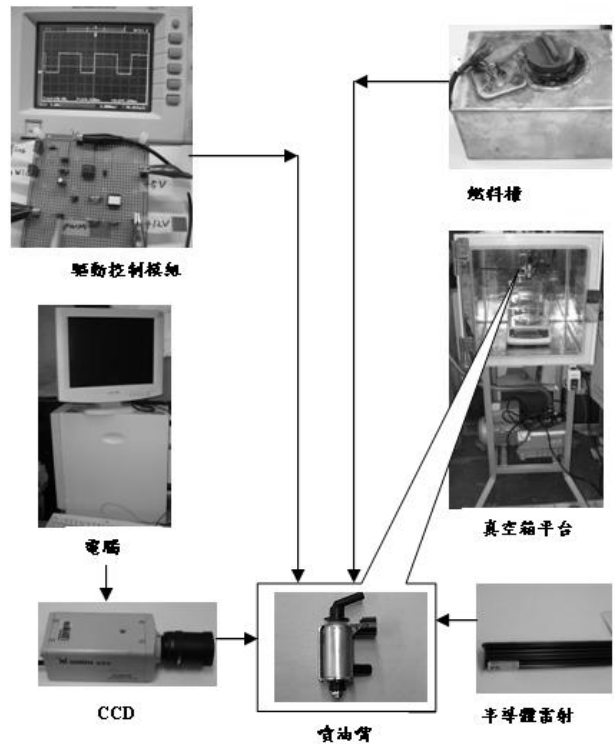


圖 6. 噴油嘴總成元件測試平台與量測系統架構實體圖

外，新型噴油嘴總成是安裝於進氣歧管內，故其噴射流率會受到真空負壓之影響。因此，本實驗平台可利用真空馬達配合壓力表以调控新型噴油嘴總成噴射環境壓力於歧管負壓範圍，期以此負壓環境來模擬引擎進氣歧管壓力。如此，方能更精確地掌握新型噴油嘴總成之噴射特性。

(二) 驅動與隔離電路製作

驅動電路的目的是在於隔離由方波產生器所產生的正弦脈波寬度調變信號，讓此控制訊號足夠驅動功率電晶體正確的導通與截止來控制新型噴油嘴總成作動。本研究驅動電路的製作使用 555 方波產生器、TLP250 光耦合器與 2N6277 功率電晶體並搭配周邊電路設計來完成此項工作 [5]。TLP250 具有快速響應及高抗雜訊的功能，使用它來隔離功率元件在高電壓、大電流情況下高頻切換所造成的干擾訊號，並可以使負載端與驅動電路做電氣隔離，以保護驅動電路的正常操作 [3]。

1. 方波產生器電路

555 晶片的主要功能是做為方波產生器、振盪器或計時器，是數位電路常使用的元件。方波產生器，振盪頻率的穩定度可達 1%。相較於 741 作成的振盪器，此電路只需要供給單一的正電壓源，方波的頻率由兩個電阻與一個電容決

定，其電路圖，如圖 7。另外，調整 R_1 與 R_2 的比值可改變方波的工作週期，但是頻率也會隨之改變。作動時間 (W) 與週期 (T) 計算式，如 (5) 式、(6) 式，Duty cycle 計算式，如 (7) 式。方波產生器的時序圖，如圖 8 所示 [4]。

$$W = 0.693 (R_1 + R_2) C \quad (5)$$

$$T = 0.693 (2R_1 + R_2) C \quad (6)$$

$$\text{Duty cycle } 100\% = \frac{W}{T} = \frac{R_1 + R_2}{2R_1 + R_2} \quad (7)$$

2. 光耦合器隔離驅動

本研究是採用 Toshiba 公司製的 TLP250 光耦合器配合推挽式電晶體 [10]，來做驅動隔離電路，以避免因共地而產生的短路問題及推動功率晶體之用。控制新型噴油嘴總成作動，需有適當的驅動電路，用以驅動功率晶體的導通與截止，並且一般皆加以隔離功率元件與控制信號，以避免因短路故障時損壞了驅動電路 [7]。光耦合器隔離驅動電路與負載電路圖，如圖 9 所示，驅動與隔離電路實體圖，如圖 10 所示。

(三) 新型噴油嘴總成平台測試條件規劃

本研究以新型噴油嘴總成 (discharge pump) 作為實驗用噴油嘴，由於實驗規劃筆數繁多，在這挑選其中二項測試條件，並以此二項結果做為探討。

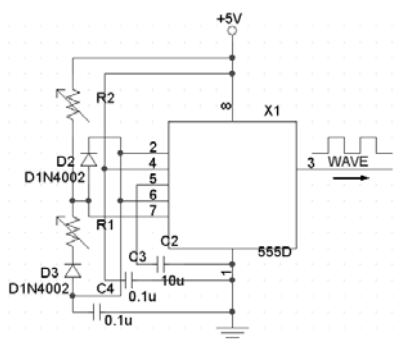


圖 7. 555 方波產生器電路

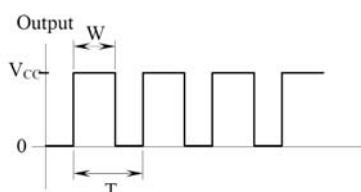


圖 8. 時序圖 [7]

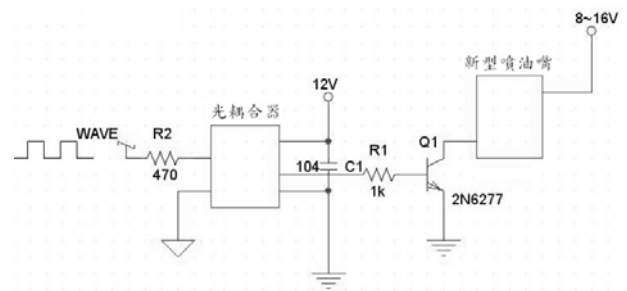


圖 9. 光耦合器隔離驅動電路與負載電路圖

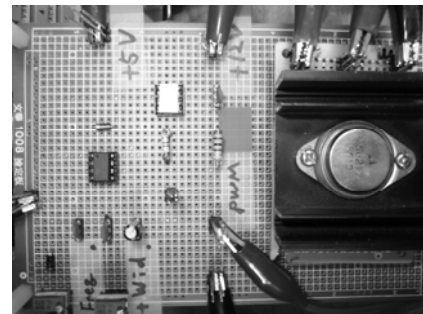


圖 10. 驅動與隔離電路實體圖

新型噴油嘴總成 ID (怠速) 和 WOT (全油門) 操作條件規格，前者代表怠速 (idling) 時驅動電壓時間間隔為 5.5 ms，一般機車怠速轉速為 1600 RPM，換算得頻率 26.7 Hz，噴射週期為 37.5 ms (施加 10 V、14 V、16 V 額定電壓)，並依照實際情況模擬怠速時歧管真空負壓，將測試壓力調整為接近真空下。

後者則代表最大油門負荷 (loading) 時驅動電壓時間間隔為 5.5 ms，機車部份負荷最大油門轉速為 7200 RPM，換算得頻率 120 Hz，而噴射週期為 6.7 ms。(施加 10 V、14 V、16 V 額定電壓)，並依照實際情況模擬怠速時歧管真空負壓，將測試壓力調整為接近大氣壓力下。

測試項目包括：

- (1) 執行 ID 與 WOT 操作條件下質量流量量測。
- (2) 針對 ID 操作條件下，探討改變電壓 (8 ~ 16 V)，對新型噴油嘴總成噴射流場與流率特性影響。
- (3) 針對 WOT 操作條件下，探討改變電壓 (8 ~ 16 V)，對新型噴油嘴總成噴射流場與流率特性影響。

(四) 新型噴油嘴總成檢測結果

由於記錄波形筆數繁多，在這挑選 ID 條件下的 14 V 和 WOT 條件下的 14 V 二項測試條件波形圖，並以此二項波型

做為探討。

在圖 11 為新型噴油嘴總成於 ID 14V 條件下量測驅動電壓、電流對時間變化關係圖，圖中清楚顯示 ID 條件噴射週期為 37.5 ms，閥門開啓時間為 5.5 ms、閥門關閉時間為 32 ms。在圖 12 為新型噴油嘴總成於 WOT 14V 條件下量測驅動電壓、電流對時間變化關係圖，圖中清楚顯示 WOT 條件噴射週期為 8.3 ms，閥門開啓時間為 5.5 ms、閥門關閉時間為 2.8 ms。

圖 13、14 陳列 DCP 噴油嘴總成於額定預設 14 V 驅動電壓 ID 與 WOT 操作條件下全域式 CCD 放大倍率直接照相與雷射光頁螢光粒子激發顯相噴射流場，無論近景直接照相

或粒子螢光激發亮點軌跡都可觀察到液體汽油由噴嘴外圍以傾斜角度噴出，於 3 至 5 倍噴嘴內孔直徑距離處扭曲交錯（可用「完整中心噴出長度 (intact core injection length)」描述)，再沿下游散射。

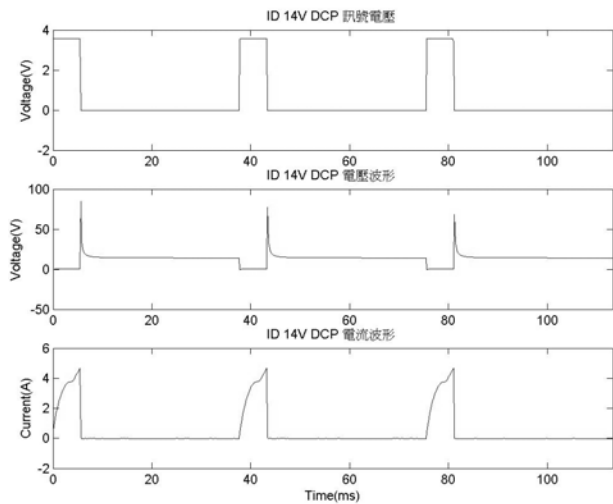


圖 11. 新型噴油嘴總成於 ID 14 V 條件下量測驅動電壓、電流對時間變化關係圖

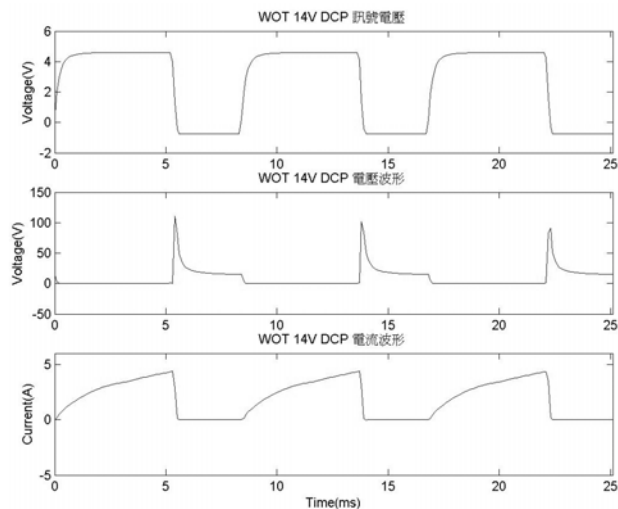
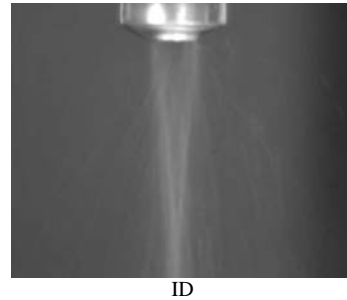


圖 12. 新型噴油嘴總成於 WOT 14 V 條件下量測驅動電壓、電流對時間變化關係圖

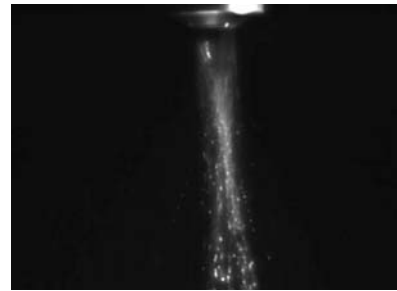


ID

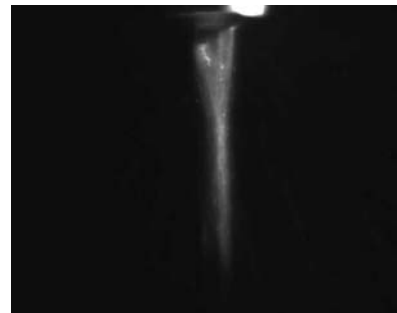


WOT

圖 13. DCP 噴油嘴總成於額定預設 14 V 驅動電壓下 ID 與 WOT 操作條件下噴射流場噴口近景直接照相



ID



WOT

圖 14. DCP 噴油嘴總成於額定預設 14V 驅動電壓下 ID 與 WOT 操作條件下噴射流場噴口近景雷射光頁螢光粒子激發顯相

測試時，使用方波產生器電路預供給方形波，經過 TLP250 隔離電路後，由大功率電源供應器提供電壓 14 V，通過電路與新型噴油嘴總成負載後，突波電壓瞬間隨即上升至 100 ± 40 V 後，立即降壓至 14 V，並穩定在 14 ± 0.5 V 範圍，且使新型噴油嘴總成維持正常噴射作動，直至訊號電壓 off，使閥門關閉。

一般噴射後三至五分鐘即可達穩定狀態，隨後約依照新型噴油嘴總成平台測試條件規劃的條件值，使新型噴油嘴總成電路驅動新型噴油嘴總成平台 3 分鐘，每一分鐘將噴出之汽油以量杯收集並置放於精密電子秤上稱重記錄，如表 2 所示。

量測期間，每一分鐘記錄累積質量，圖 15 為新型噴油嘴總成在 ID 改變電壓（10 V、14 V、16 V 額定電壓）操作條件下，每分鐘量測之質量流率特性曲線圖。測試中質量流率量測程序，係將噴出之汽油以量杯收集並置放於精密電子秤上稱重。

圖 16 為新型噴油嘴總成在 WOT 改變電壓（10V、14V、16V 額定電壓）操作條件下，每分鐘量測之質量流率特性曲線圖。測試中質量流率量測程序，係將噴出之汽油以量杯收集並置放於精密電子秤上稱重。

表 2. 10 V、14 V、16 V 驅動電壓噴射作動 3 分鐘總質量

新型噴油嘴驅動電壓 (V)	ID (怠速) 噴射總質量 (g)	WOT (全油門) 噴射總質量 (g)
10	4.5	13.45
14	14.3	108.10
16	20.4	88.30

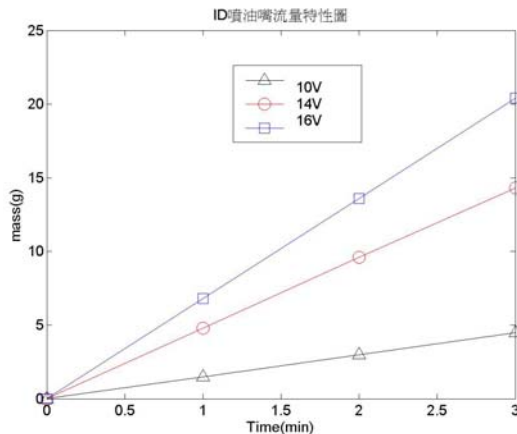


圖 15. 新型噴油嘴總成在 ID 操作條件下質量流率特性量測

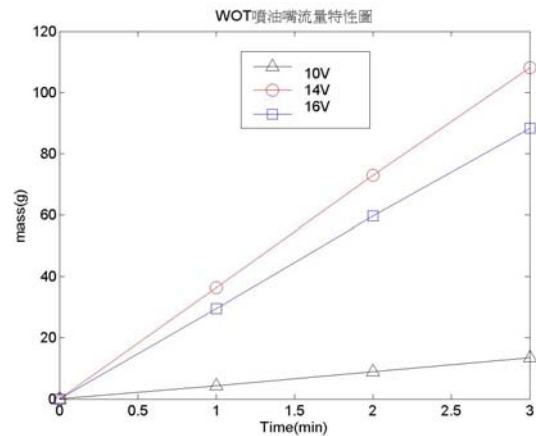


圖 16. 新型噴油嘴總成在 WOT 操作條件下質量流率特性量測

並可得每分鐘質量差（可換算出 g/s），共取 3 個數據供計算質量流率平均值與標準差。若新型噴油嘴總成驅動電壓 14 V、ID 與 WOT 條件下之質量流率量測值分別為 0.079 g/s 和 0.600 g/s。

本研究亦針對 ID 與 WOT 操作條件下，固定噴射閥門開啟時間 5.5 ms，探討改變電壓（8 ~ 16 V）後所造成新型噴油嘴總成噴射質量流率變異程度。

表 3 與圖 15、圖 16 列出不同新型噴油嘴總成驅動電壓對質量流率影響，在此測試驅動電壓包括 10、14、及 16 V，在 ID 操作條件均呈現新型噴油嘴總成噴射質量流率隨驅動電壓升高而增加，在 WOT 操作條件下，16 V 則因氣阻現象使噴射率較為減少。各驅動電壓下 WOT 質量流率均大於 ID 相對值。低驅動電壓（10 V）狀況，其質量流率量測值明顯有較高標準差。

當 ID 時，以 14 V 質量流率為基準值，驅動電壓改為 10V / 16V，質量流率值變異量則為 -68.3% / +43.0%；當 WOT 時，電壓改為 10 V / 16 V 之質量流率值變異量為 -87.6%/-18.4%。

表 3. 不同新型噴油嘴總成驅動電壓對質量流率影響

新型噴油嘴總成 驅動電壓(V)	ID(怠速) 質量流率平均值(g/s)	WOT(全油門) 質量流率平均值(g/s)
10	0.025	0.074
14	0.079	0.600
16	0.113	0.490

在 ID 與 WOT 操作條件下了解改變電壓 (8 ~ 16 V) 對 DCP 噴射流場結構的影響亦為一重要因素。圖 17、圖 18 展示 DCP 噴油嘴總成於額定預設 8、14、16 V 驅動電壓下 ID 與 WOT 操作條件下噴射流場全景直接照相。

考慮驅動電壓範圍 8~16V，ID 或 WOT 操作模式均可見噴油嘴總成完整中心噴出長度隨驅動電壓升高而增加。在 10 V 與 14 V 驅動電壓下，WOT 之 DCP 噴射質量流率都高於 ID 量測數據；但注意噴油嘴總成噴口下緣影像可發現怠速轉速的完整中心噴出長度則一致性地大於最大油門負荷噴出長度觀察值。

例如 14 V 電壓 ID 與 WOT 的噴出長度約分別為 2.2 cm 和 3.8 cm，且 ID 在更下游的液柱噴射發散角度似比 WOT

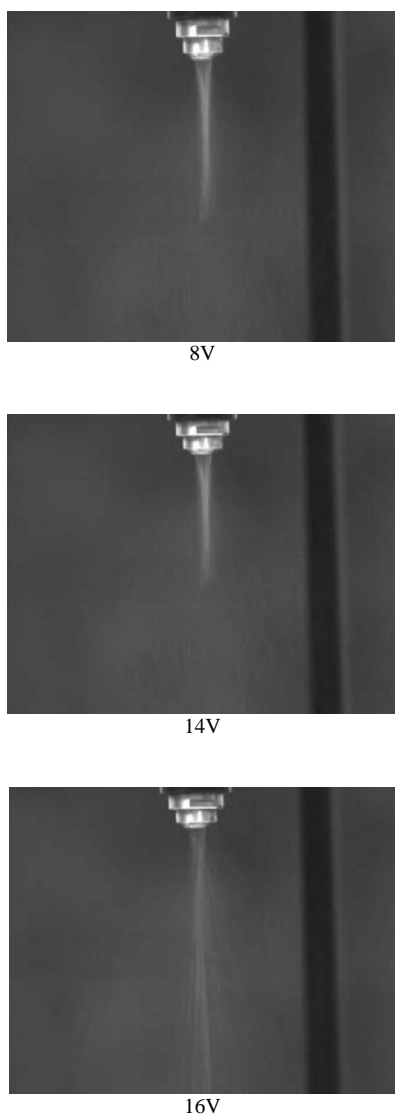


圖 17. DCP 噴油嘴總成於額定預設 8、14、16V 驅動電壓下 ID 操作條件下噴射流場全景直接照相

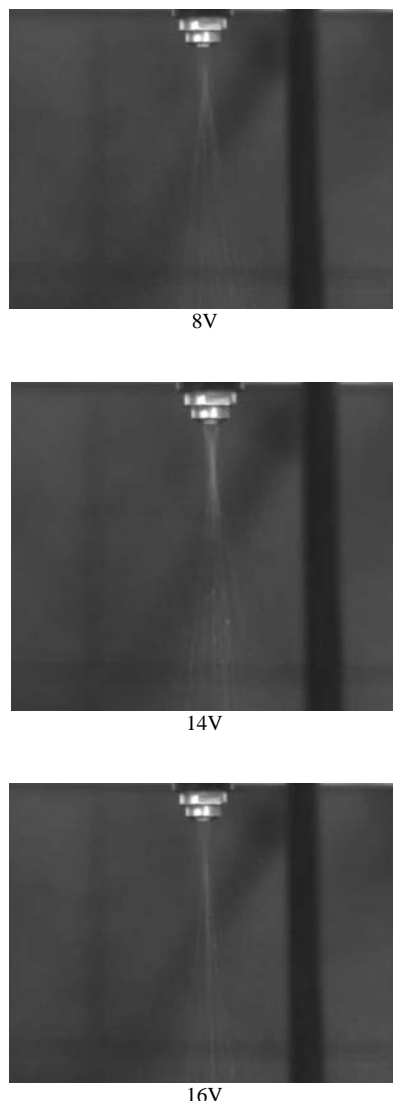


圖 18. DCP 噴油嘴總成於額定預設 8、14、16V 驅動電壓下 WOT 操作條件下噴射流場全景直接照相

狀況較為集中，預期汽油可符合噴油嘴總成設計要求而直接撞擊對向進氣歧管內壁，並因重力沿壁流入引擎汽缸，與空氣適當混合後點火燃燒產生動力。

(五) 不準確度分析

DCP 特性實驗量測存在不準確度，係由儀器系統本身誤差及人為讀值誤差所造成。增加實驗量測值可信度，必須進行實驗量測數據之不準確度分析。依據 Moffat [9] 於 1988 年發表之實驗不準確度分析法，將其實驗結果不準確度與實驗量測參數進行不準確度實驗分析。

我們實驗可能影響的環境因素 (溫度、電子秤、量測時間及操作電壓)，實驗量測儀器設備精度與實驗量測的不準確度。所有可能的不準確度參數及其種不準確度如表 4 所示。

表 4. 不準確度分析

額定條件	計時儀器	電子秤	操作電壓
儀器量測精度	0.001s	0.1g	0.1V
量測值	180s	108.1	14V
單一埠準確度	0.0005%	0.09%	0.71%
不準確度	±0.8005%		

三、結論

本研究新型噴油嘴總成流量特性研究，在實驗量測過程中，依不同的作動條件和環境條件使用測試平台測試新型噴油嘴總成進行不同燃油噴射測試，最終目的就是要能測試出最接近實際的燃油噴射情況，將最真實的新型噴油嘴總成噴射資訊傳輸給車用電子控制單元 ECU。因此本研究之新型噴油嘴總成流量特性量測，能讓 ECU 達到即時性與準確性之控制，使動力源在行使時更加平順。

在本次改變噴油嘴總成工作電壓，觀察該參數對噴油嘴總成的影響，由所量測得噴油量的改變，顯示驅動電壓改變將相當程度影響新型噴油嘴總成噴射質量流率穩定性。在未來平台測試條件中，若能將其他溫度與其他因素加入修正後，由噴油嘴總成作動噴油量，觀察其噴油量改變的多寡，使本研究之新型噴油嘴總成流量特性量測為強健。

參考文獻

1. 三國股份有限公司（民 97），DCP 作動原理與優點，三國股份有限公司，日本。

2. 交通部（民 97），機動車輛登記數，交通統計，台北市。
3. 李思賢（民 92），數位式單相低功率太陽光電能轉換系統，國立中山大學電機工程學系碩士論文。
4. 吳尚德（民 95），應用電子學講義 Lecture Notes on Applied Electronics，頁 123-129，雲林。
5. 張子文（民 91），再生式剎車系統速度控制之分析及設計，大葉大學自動化工程學系碩士論文。
6. 翟立謙（民 95），電控摩托車發動機噴油及點火控制 MAP 建模仿真與實驗研究，湖南大學動力機械及工程研究所碩士論文。
7. 蘇卓盛（民 92），應用於感應加熱的負載並聯共振電流型反流器設計與研製，中原大學電機工程學系碩士論文。
8. Jones, V. K., J. D. Powell and G. F. Franklin (1994) *Adaptive Air-Fuel Ratio Control of a Spark-Ignition Engine*, SAE paper No. 940373.
9. Moffat, R. J. (1988) Described the uncertainties in experimental results. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 1, 3-17.
10. TOSHIBA (ND) Retrieved June 15, 2008, from <http://cn.100y.com.tw/CN-Catalog-pdf/23-50.pdf>

收件：97.01.09 修正：97.06.14 接受：97.08.19