

柴油引擎新科技裝置-以 Bosch 共軌式噴射系統為例

作者/車輛組周致熠少校

提要

- 一、柴油引擎噴射系統的良劣直接影響車輛有毒氣體排放量，超標的有毒氣體會對環境產生嚴重的傷害，為減輕環境傷害各大車廠陸續推出各類新科技來解決毒氣體排放的問題，其中柴油共軌噴射系統經證實是個不錯的選項之一，可有效改善使用傳統噴射系統的柴油引擎最讓人詬病之空汙、噪音、震動。
- 二、傳統柴油噴射系統於 1924 年開始裝置於柴油引擎後，皆以機械方式控制油料供給，但不管是效能及污染的控制皆無法讓人滿意，至 1960 年代末期柴油噴射系統之理念由瑞士科學家所提出，經過多年的改良與驗證至 1997 年後 Bosch 公司系推出技術日趨成熟的共軌柴油噴射科技。
- 三、為解決傳統由機械控制之噴射供油系統，因油壓起伏不定導致燃燒後產生大量的空汙、噪音、震動之等汙染源，因此共軌噴射系統在噴射器前安裝一只稱為共軌的管狀物來穩定油壓並配合車用電腦及各類感知器的控制及修正噴射時機與噴射量，讓柴油在噴射前獲得更高且穩定的油壓，使燃燒完全進而減少上述汙染。
- 四、鑑於柴油共軌噴射系統將為未來柴油引擎發展之主流，且國軍戰車現今以需性能提升或換新，故研究現今發展已日趨成熟之新科技裝置，以提供未來需求所參考。
- 五、隨時空轉變導入新科技裝置將是效能提升與環境保護兩者兼顧的不二法門。

關鍵詞：噴射泵、共軌、ECU

壹、前言

噴射系統是柴油引擎中重要機件之一，關係著燃油的供給、分配、加壓之功能，故系統的良劣直接影響車輛油耗、效能及有毒氣體排放量，尤其以毒氣體排放量超過標準對環境產生傷害最為嚴重，在環保意識抬頭及能源枯竭的危機下，各國採取更嚴苛的環保規範，為符合新環保規範各大車輛製造商推出各式新科技裝置來解決，其最普遍是採用共軌噴射技術及柴油微粒過濾器等新技術。

共軌系統是在柴油引擎上使用高壓泵實施油料加壓及加裝直管來維持柴油壓力並用電腦控制噴射正時及供油時間，以改善傳統噴射泵使用機械送、壓柴油所造成的壓力上下波動所產生燃燒不完全的狀況，這個改變為將大幅改善傳統柴油引擎最讓人詬病之空汙、噪音、震動，也可更精準地控制油耗，也讓運轉之精緻度已趨近於汽油引擎，考量國軍現用主力戰車皆以柴油引擎為動力來源是噴射系統均為 Bosch 公司之產品，故希望藉此研究 Bosch 共軌式噴射系統構造及優劣以提供未來選用之參考。

貳、Bosch 共軌式噴射系統由來

柴油引擎之誕生為 1892 年德國工程師狄賽爾，為解決當時汽油引擎點火系統發展不成熟，故改以空氣在汽缸內壓縮產生高熱點燃柴油之原理發明出第一具以非火花點火之柴油引擎，但發展初期無供油噴射系統使引擎產生運轉不順的問題，使故柴油引擎的發展沉寂了一段時間，到 1924 年才由美國 Cummins 公司將供油噴射泵運用於柴油引擎上解決了上述問題，不僅如此也將設計的柴油引擎安裝於卡車上，奠定了日後大型車使用柴油引擎的基礎¹，到了 1936 年後 Mercedes-Benz 更首創將柴油引擎裝置於 260D 系列小型車上，成為小型車使用柴油引擎的先驅，但經過多年演進柴油供油系統仍是使柴油引擎被冠上「骯髒」最大的兇手，故柴油引擎在當時仍多為重機械及重型車輛所使用。

此瓶頸到了 1960 年代末期由瑞士科學家 Robert Huber 首先提出高壓共軌噴射技術，經過各大車廠研發及多次的改良後首輛運用該技術之實車是由 1995 年日本電裝公司 Dr.shoheiltoh 與 Masahiko Miyaki 所開發的 ECD-U2 共軌式噴射系統，並安裝在 Hino Rising Ranger 的市售卡車上如圖(1)，這項創新的技術可降低空污、油耗及噪音，讓柴油引擎漸漸擺脫「骯髒」的稱號。

圖 1、Hino Rising Ranger 卡車



資料來源：https://www.wikiwand/en/Hino_Ranger

而 Bosch 共軌式噴射系統緣起於 1990 年代由 Magneti marelli 公司、Centro Ricerche Fiat 研究中心與 Elasis 公司共同研製開發，但因研發團隊財務問題將其技術轉售於 Bosch 公司在，而 Bosch 公司對系統部分改良後在 1997 年推出第一代共軌噴射系統即運用在 FIAT Alfa 車系 2.4LJTD 的柴油引擎上如圖(2)，其設計理念主要以共軌穩壓，電腦訊號控制、作動修正及只須小幅度改裝而不須大幅度改變引擎構型，就可以使柴油引擎變「乾淨」為基礎，也為未來該系統後續發展訂定了基本構型。

該公司於 2001 年及 2003 年陸續推出第二代及第三代系統，至今已發展出第四

1 《柴油引擎》，http://www.nmvttc.gov.tw/uploadimg/0990420_1.pdf，檢索日期：107年5月22日。

代，其中重大變革為使用可變幾何油道噴油器，此改變比前幾代可更精確控制噴射時間及油量、更大幅度提升輸出馬力，也符合現今 Euro6 的嚴苛的環保規範，此系統使用範圍非常廣泛，小至輕型商用車；大至火車及船舶引擎皆可採用，現今 Mercedes-Benz(圖 3)、BMW、Audi、VW、Volvo 等知名造車大廠大量選用該系統，使 Bosch 共軌噴射系統成為柴油車市場的主流。

圖 2、FIAT Alfa 及 2.4L JTD 柴油引擎



資料來源：

https://zh.m.wikipedia.org/wiki/Alfa_Romeo_156

圖 3、Benz B200 CDI 及 OM651 引擎



資料來源：<https://www.cardot.com/mercedes-benz/2012-mercedes-benz-b200-cdi/photo01.aspx>

參、Bosch 共軌噴射系統介紹

傳統柴油引擎噴射系統中高壓噴射泵是一個重要元件，其功用肩負著燃油加壓、分配、正時的功用，惟該型噴射泵是以機械控制，故在引擎高速及低速運轉下油壓也隨之高低波動起伏，讓柴油噴射進汽缸後霧化不良而導致燃燒不完全，這也是造成大量空汙、噪音、震動等汙染的最大成因，為解決上述傳統高壓噴射泵的缺點，Bosch 公司在新研發的噴射系統中在噴射器前安裝一只稱為共軌的管狀物來穩定油壓，故統稱共軌式噴射系統，這樣的設計讓噴射油壓不再受引擎轉速的影響，並配合車用電腦(ECU)²及各類感知器的電子數據運算來控制噴射，使進入汽缸內的柴油可達更穩定的霧化高壓，更採用電子感知器取代機械來控制、修正噴射系統作動，使噴射時間及噴油量也更為精確，將傳統噴射系統之諸般缺點做了大幅度的改善，也讓柴油引擎效能提高，相對能符合現代的環保規範³。

一、Bosch 共軌式噴射系統作用原理(圖 4)：

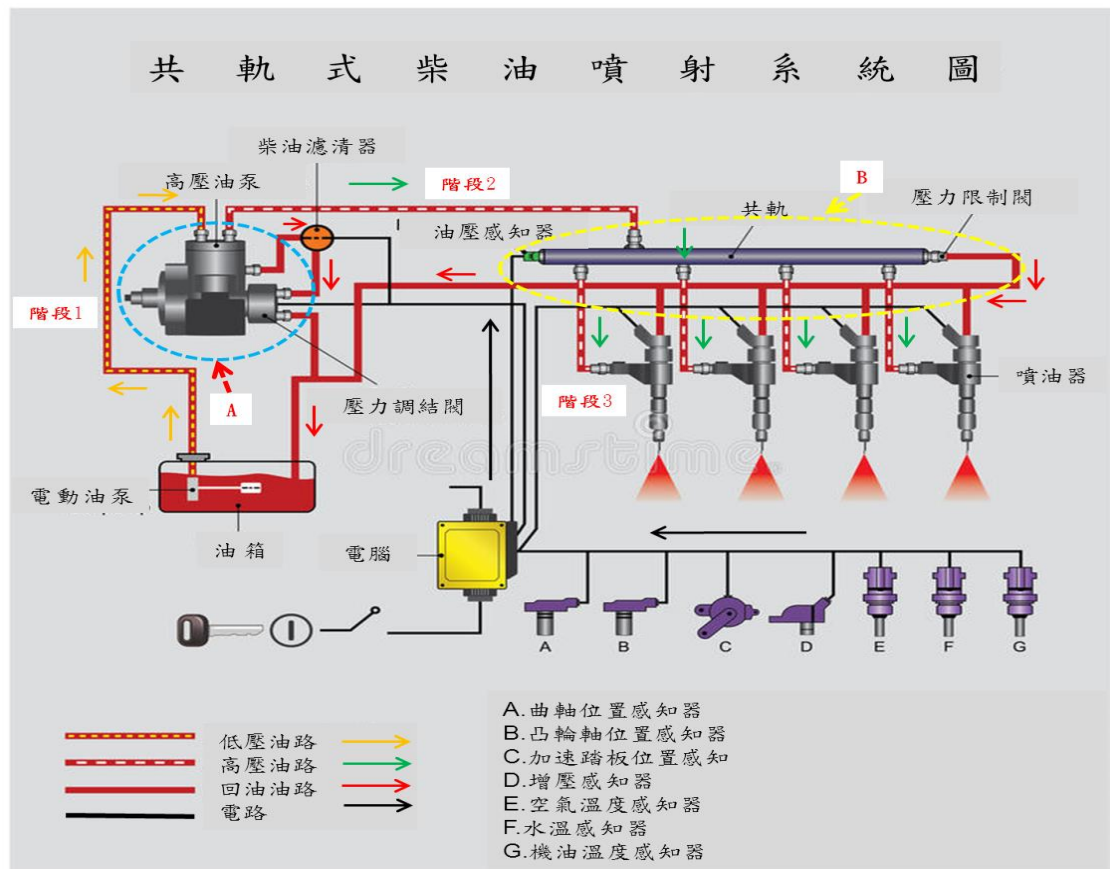
共軌式柴油噴射系統區分燃油供給及電子控制兩個系統，燃油部分以各部機件大致區分三大階段，藉由共軌噴射系統供給穩定油壓及 ECU(車輛控制電腦)所控制的各部機件使其精密作動，提供柴油引擎高效能的輸出⁴，不同於傳統噴射系統靠機械驅動噴射泵，噴射泵本身肩負加壓、分配、及正時，故兩系統構造略有不同如(圖 4、5)之 A、B。

2ECU 為 Bosch 公司對車用電腦給予的名詞定義，其主要是接收、運算、發送電子訊號控制系統作動器作動。

3林陣江、施保重《Bosch 共軌噴射燃料系統》(tr.ssvs.tn.edu.tw)(2004.6)

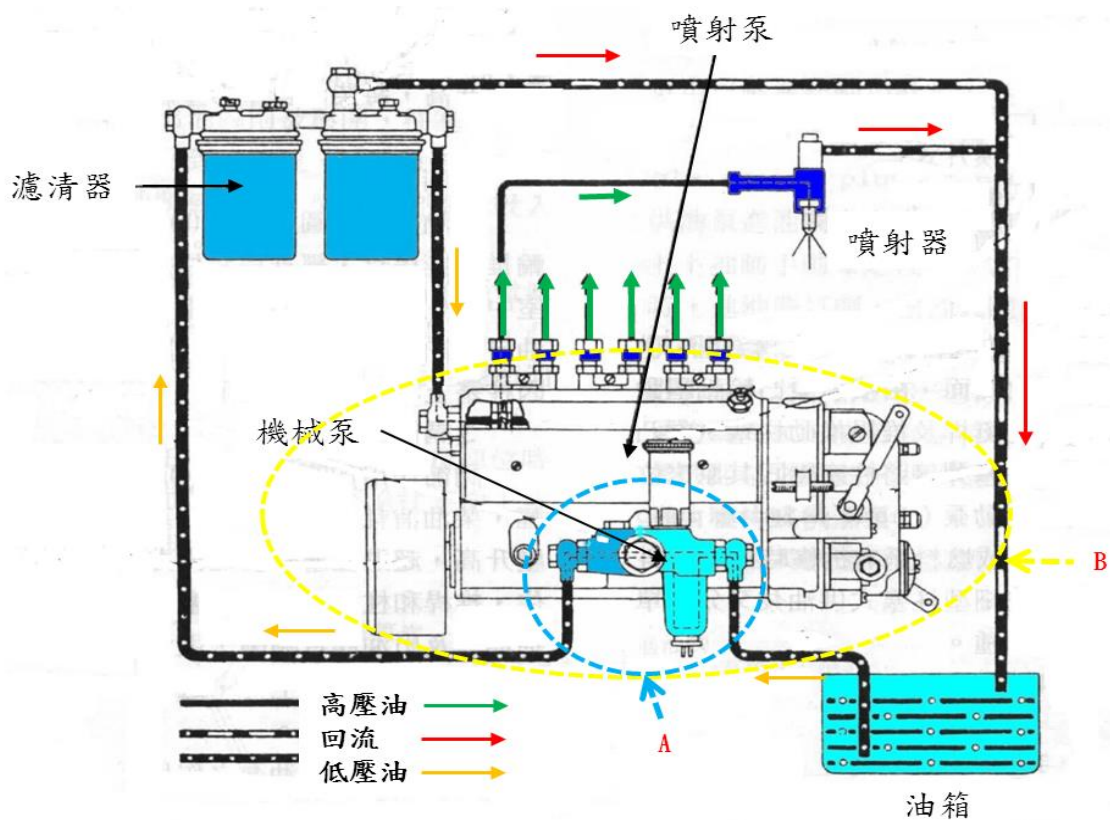
4黃靖雄、賴瑞海，《現代柴油引擎新科技裝置》(全華圖書股份有限公司，西元 2012 年 11 月)，頁 3-9。

圖 4、共軌式柴油噴射系統構造與作用



資料來源：作者綜整

圖 5、柴油噴射泵噴射系統構造與作用



資料來源：作者綜整

(一)燃油供給系統

1. 第一階段(油箱至高壓油泵)

當車輛鑰匙打開電源時柴油經油箱中電動泵抽取、加壓後，輸送至高壓油泵進油口，因電動泵加壓磅數在全系統中屬於低壓，故此階段稱為低壓油路⁵。

2. 第二階段(高壓油泵至共軌)

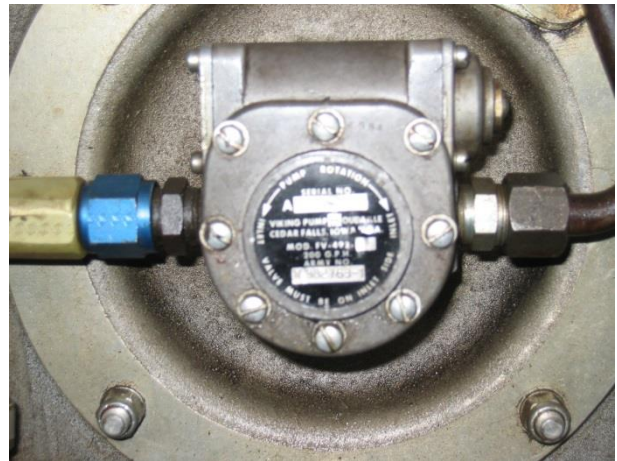
油料進入由引擎鏈條、齒輪或皮帶所驅動的高壓油泵內(圖 6)經過泵內三組輻射狀排列的柱塞組所加壓，使輸出之柴油壓力提升至 19500PSI 以上後導入共軌內實施儲存及穩壓，讓引擎在所有運轉狀態下均提供壓力穩定的高壓柴油，以及能夠快速建立共軌內壓力以供下次啟動，高壓油泵功能與傳統機械葉輪泵相同均為加壓及輸油，惟高壓油泵輸出壓力高於機械葉輪泵(圖 7)百倍以上，出高壓油泵後一部分進共軌系統待噴射燃燒，未進共軌之一部分經柴油濾心過濾後回流油箱⁶。

圖 6、共軌柴油噴射系統高壓油泵



資料來源：作者綜整

圖 7、傳統噴射系統機械葉輪泵



資料來源：作者拍攝

3. 第三階段(共軌至噴射器)

當高壓柴油進入共軌(圖 8)，其外型為一只長型管狀物，該功用在儲存高壓柴油及穩定噴射前油壓，並經由上方安裝的流量限制器、油壓感知器、壓力限制閥等感知器在電腦(ECU)的控制下，將穩定的高壓柴油送至各缸噴油器⁷，以改善傳統噴射泵 (圖 9)用凸輪驅動柱塞壓油(圖 10)造成油壓波動及霧化不良現象⁸。

圖 8 共軌本體



資料來源：作者綜整

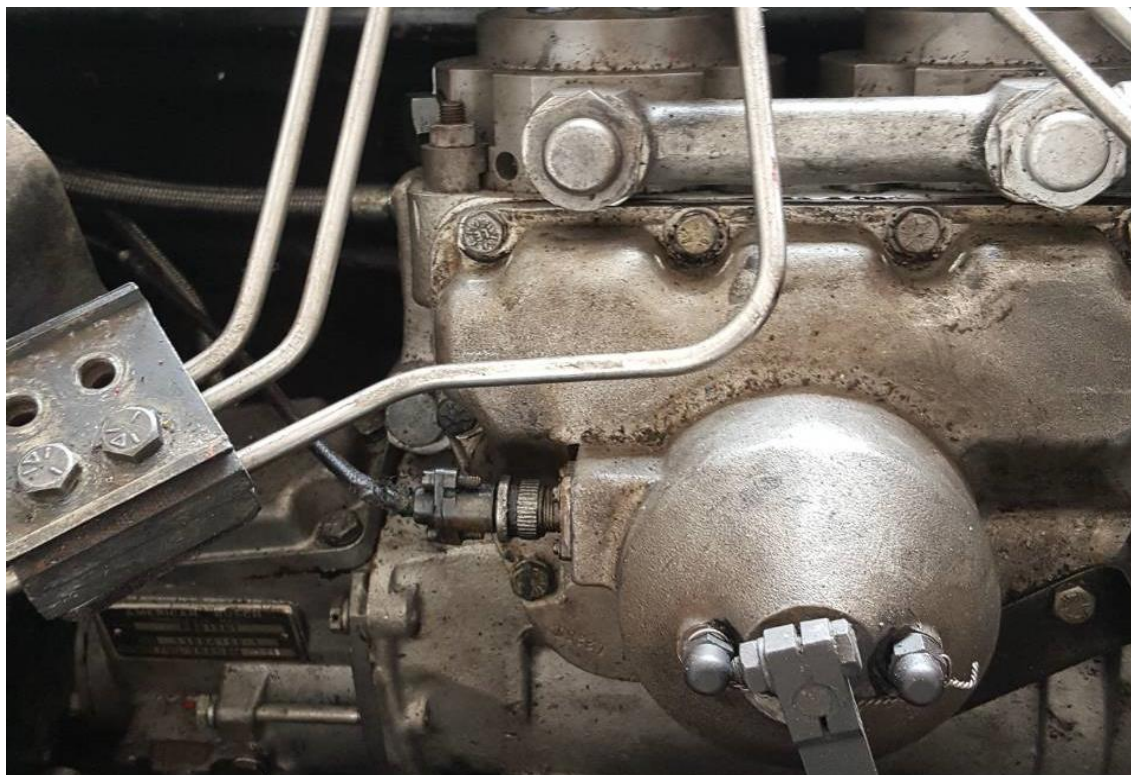
5黃靖雄、賴瑞海，《現代柴油引擎新科技裝置》(全華圖書股份有限公司，西元 2012 年 11 月)，頁 3-9~3-12。

6黃靖雄、賴瑞海，《現代柴油引擎新科技裝置》(全華圖書股份有限公司，西元 2012 年 11 月)，頁 3-13~3-15。

7黃靖雄、賴瑞海，《現代柴油引擎新科技裝置》(全華圖書股份有限公司，西元 2012 年 11 月)，頁 3-15~3-19。

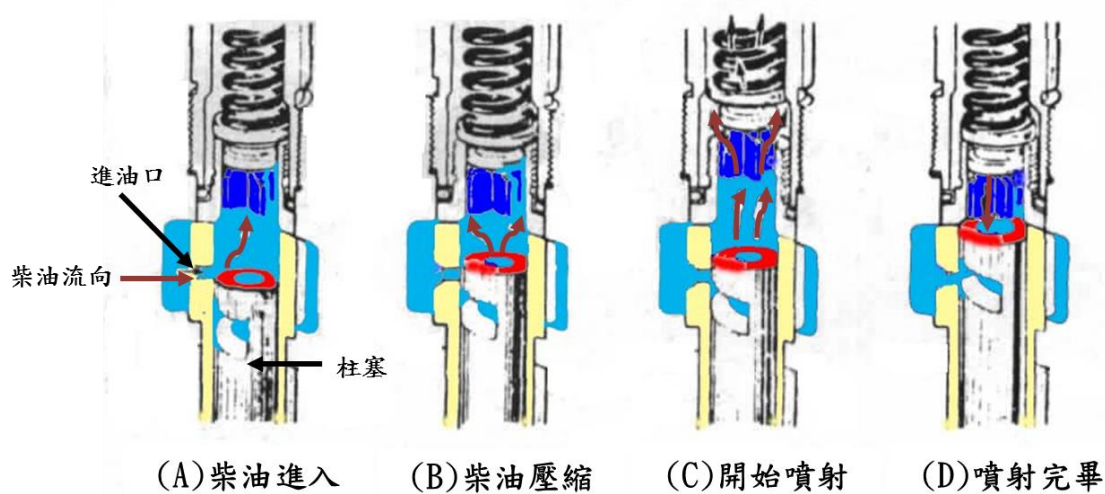
8TM9-8000 自動車原理 西元 1985 年 10 月頁 199。

圖 9、傳統高壓噴射泵(PSB-12BT)



資料來源：作者拍攝

圖 10、傳統噴射泵內部柱塞運作示意圖



資料來源：作者綜整

油料出共軌後進入噴油器等待電子訊號作動噴射進入汽缸，共軌式柴油噴射系統使用壓電孔式噴油嘴(圖 11)，與傳統噴油器如(圖 12)作動方式採壓力控制不同，新式噴油器其採電子訊號來控制噴油時間與噴射量，將噴射泵供給之高壓燃油霧化以利燃燒如(圖 13)，惟在安裝方面與傳統柴油直接噴射引擎的噴射器安裝方式皆以固定夾實施定位，故在不需大幅度修改下可直接安裝於直接噴射式的引擎汽缸蓋上⁹。

⁹黃靖雄、賴瑞海，《現代柴油引擎新科技裝置》(全華圖書股份有限公司，西元 2012 年 11 月)，頁 3-18。

圖 11、共軌式柴油噴射系統噴油器



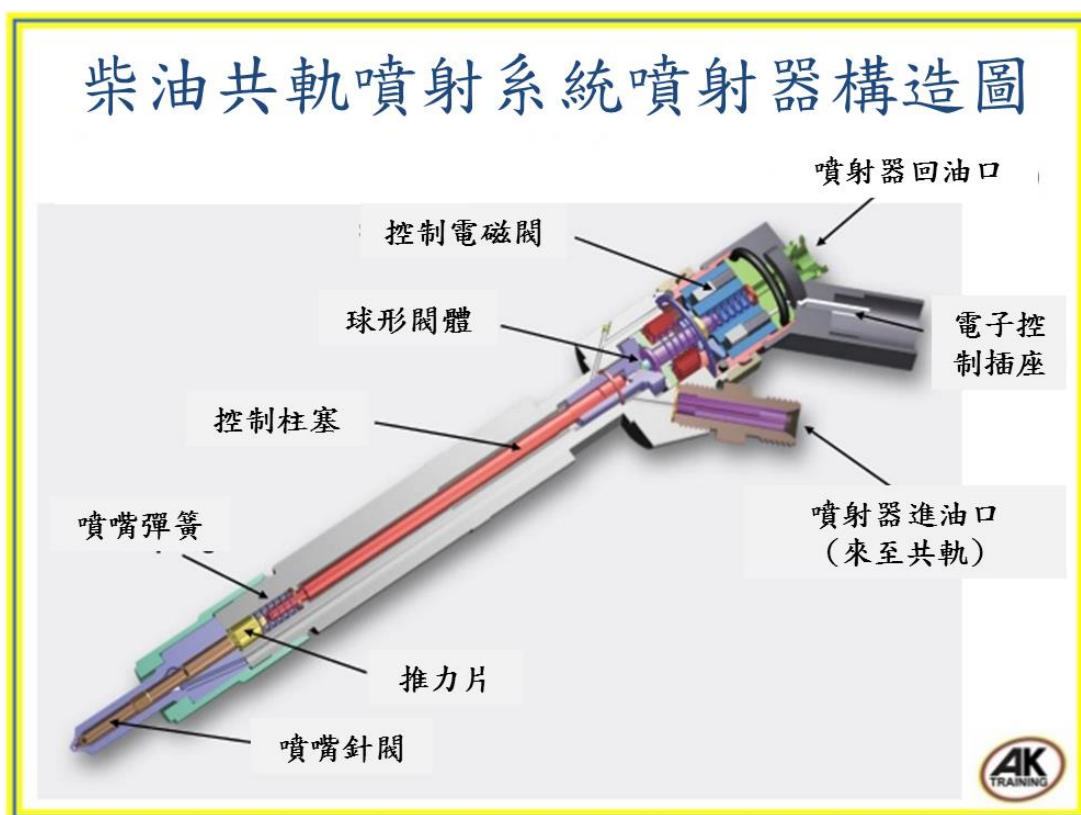
資料來源：作者綜整

圖 12、傳統噴射系統壓控式 ADE 型噴油



資料來源：作者拍攝

圖 13、共軌式柴油噴射系統噴油器內部構造



資料來源：作者綜整

(二)電子控制部分由各感知器如(圖 4 中 A-G)，將引擎運轉的現況以電子訊號傳至車用電腦(ECU)，經車用電腦運算後確定各缸噴射時機並發射訊號給予噴油器使其作動噴油，另車用電腦也接收油門踏板感知器、進氣壓力感知器等訊號，以適時依引擎需求適當的修正噴射器之每次噴射油量、相較於傳統高壓噴射系統需靠曲軸及凸輪軸正時齒輪的連動控制噴射泵作壓油、分配、送油等動作故油壓會隨轉速高低而產生上下起伏，將導致燃燒不完全及馬力喪失，而共軌式各機件肩負之動作更為單純且精確使燃燒完全且馬力大幅度的提升。

二、共軌噴射系統噴射特性(圖 14)

運用電腦的控制可使噴射器作動出先導噴射、主噴射及二次噴射等階段，可讓產生油壓及油料噴射等兩動作個別獨立，這是傳統機械控制無法各階段獨立噴射，所以共軌式噴射系統可配合引擎在任一作動狀況，以達到理想的空燃比¹⁰。

(一)先導噴射與動力行程前噴射

噴射 $1\sim4\text{mm}^3$ 之柴油來改善燃燒效率，以達到下列效果：

- 1.因少量燃燒，使壓縮壓力微量增加，使後續主燃燒之壓力增長趨於和緩。
- 2.減少主噴射時柴油的著火延遲
- 3.降低燃燒壓力上升及峰值壓力。

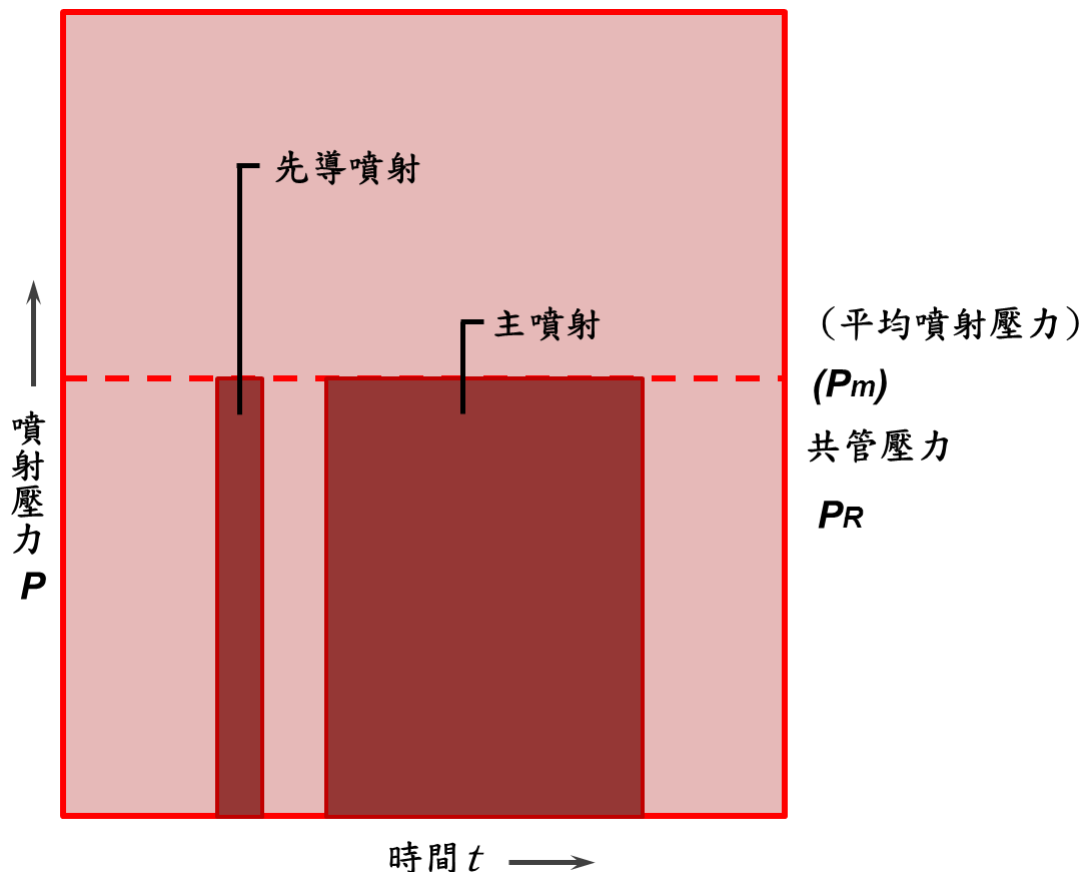
(二)主噴射

為引擎扭矩輸出之主要供給，優點噴射全期程壓力穩定，不受機械效能之影響。

(三)二次噴射

二次噴射作動與排氣行程上，以噴射精密且微量的柴油與燃燒室中，以降低廢氣溫度減少 NOx 之有毒氣體，其部分氣體在出排氣門後，又由 EGR 系統導回燃燒室重新燃燒以降低二次噴射中未燃燒之 HC。

圖 14、共軌柴油噴射系統特性¹¹



資料來源：作者繪製

¹⁰黃靖雄、賴瑞海，《現代柴油引擎新科技裝置》（全華圖書股份有限公司，西元 2012 年 11 月），頁 3-8。

¹¹此圖顯現共軌柴油噴射系統特性，噴射壓力不受噴射時間而使壓力下降。

三、小結：

共軌式柴油噴射系統可將傳統噴射系統所產生無法精確控制各缸噴油壓力、柴油無法均勻霧化導致燃燒不完全、在各種運轉狀況下各缸供油量不穩定及排放的廢氣中大量有毒氣氣體等缺點加以改善。

肆、共軌柴油噴射系統優缺點與未來發展

一、共軌式柴油噴射系統優點

- (一)在較佳省油性、較低汙染氣體排放及更低的引擎噪音的要求下，傳統機械式調速的柴油噴射系統已無達成目標，只有共軌噴射系統可提供高噴射壓力(5100psi~29000psi)促使高壓霧化油料與空氣做有效混和、精密噴油率及精確的噴射劑量。
- (二)不論各種大小引擎在動力需求不斷的提高且須兼具環保的條件下，使用共軌式噴射系統比傳統凸輪驅動噴射系統，具備了最佳的彈性自由度，其優點¹²。
 - 1.廣泛的使用範圍，從小客車到重型車輛、火車、船用引擎都可採用此噴射系統。
 - 2.更可獲得較傳統噴射系統高於數倍之噴射壓力促使燃料與空氣有效混和及燃燒(第一代噴射壓力可達 19000psi~第四代 29000psi)。
 - 3.可由電腦模組控制可完成先導噴射、主噴射、及後期噴射等動作以兼具動力之獲得及空汙的減少，並且可由各感知訊號修正以配合引擎不同轉速及負荷下之噴射壓力。

二、共軌式柴油噴射系統缺點

- (一)傳統噴射系統以機械聯動控制較為簡單，各機件輕微作動異常不易使引擎完全無法作動，而共軌噴射系統需以數個感知器及精密電子訊號控制，如遇機件作動異常，容易使全系統停止作動。
- (二)以 ECU 及多項電子元件控制比傳統噴射系統以凸輪帶動噴射泵構型更為複雜，維修時需靠專用電腦等工具進行故障判讀，使維修需耗費更多維護手續。
- (三)共軌噴射系統構型較舊型複雜及系統元件較多易造成後勤補給的壓力及維修之困難。

三、分析比較

- (一)傳統系統供油噴射只有主噴射，無先導噴射及後噴射，此為產生噪音及震動之主要原因之一。
- (二)傳統系統因由凸輪及柱塞之作動，產生之油壓與噴射之連帶關係如下
 - 1.當引擎轉速升高及噴油量增加，噴射壓力變高，反之較低速時壓力及噴油量較少。
 - 2.噴射過程中，噴射壓力逐漸增加，但隨噴射結束油壓也立即下降，其峰值壓力比平均壓力大兩倍以上。
 - 3.以 1983 年~2016 年 Mercedes-Benz 所產製的柴油引擎實施比較如(表 1)¹³

¹²黃靖雄、賴瑞海，《現代柴油引擎新科技裝置》(全華圖書股份有限公司，西元 2012 年 11 月)，頁 3-5。

¹³《2018 台灣賓士》(www.Mercedes-benz.com.tw) (2018)

表 1、傳統式噴射系統與共軌式噴射系統比較表

引擎型號 比較項目	BenzE-200D turbo	Benz E-200CDI	Benz B-200CDI
生產年份	1983~2001	1998~2011	2016~迄今
供油方式	高壓分油泵系統	第一代共軌系統	第四代共軌系統
驅動方式	機械凸輪控制	ECU 控制機械	ECU 控制機械
噴射壓力	3300~3500PSI	約 19000 PSI	可達 29000 PSI
馬力	92hp	114hp	136hp
調速模式	機械	感知器訊號	感知器訊號
油耗	高	較低	4.3~4.5L/KM
噪音及震動	大	較小	最小 達 3dB(A)
排汙量	大	較低	最小 降低 20%
可變噴射模式	無	區分先導、主、後期噴射	區分先導、主、後期噴射
作用模式	無	無	是需要供給壓力

資料來源：作者綜整

四、未來發展

Bosch 共軌噴射系統由 1997 年起已廣泛運用在民用型柴油引擎上，迄今已至發展第四代其利用可變幾何噴孔之噴油器來提高噴射壓力至 29000psi 以上，其雙油路設計在怠速及低負荷下作動第一段油道，可噴出更精密的柴油量，可獲得更低之油耗及污染氣體排放，在大負荷下使原油道作動，以最短時間內噴射所需之油量，以提升引擎最大輸出，此設計將可符合 Euro6¹⁴的規範。

共軌噴射系統需在大量的電子感知器及 ECU 的監控下才能維持其最大效能，雖然民用車輛市場上是發展成熟之產物，但在軍事裝備長期受重視戰力、易於修復而環保次之的政策下在裝甲履帶車輛上使用仍不普及，其保修複雜性、耐用度、戰場適應度仍是實戰驗證的要點，故現今各大車廠將適用於戰車使用的柴油引擎裝設共管噴射系統的僅有 AVDS-1790 1500HP¹⁵及 MTU883 Ka500、Ka501 等數款，待克服了上述瓶頸後勢必將普遍裝置於戰車柴油引擎上。

14 Euro6 規範為歐盟於 2015 年 9 月起對車輛放有毒氣體量之新式規範

15 AVDS-1790 1500hp 引擎為美國 L3 公司針對 AVDS-1790 系列引擎加裝共軌式噴射系統所提出之新引擎版本

伍、結論

文明的進步相對也替我們帶來了傷害，目前運用在國軍履帶車輛依舊是採用傳統噴射系統所供油的柴油引擎為主，運轉噪音及因燃燒不完全所排放的空汙部分將會污染到整個自然環境導致無法彌補的傷害，而現代柴油引擎中，共軌式噴射系統展現出高效能及低油耗特性，加上日趨成熟之技術及科技的進步，以大幅克服傳統柴油引擎之缺點，使其擺脫“骯髒”的代名詞，最重要的是它低空污、油耗、噪音的表現以符合嚴苛的 Euro6 規範。

惟此系統運用在軍事裝備上因長時間受重視戰力、易修復而環保次之的政策下故使用仍不普及，在環境保護主義的日趨抬頭下，未來本軍不論採國車國造或向外採購來獲得新式履帶車輛都將面臨必須擁有強大效能外的同時也須兼顧環境保護，故符合履帶車輛可適用之柴油引擎僅有少數選用此系統，但在未來必須二者兼得的趨勢下必大幅運用於軍事柴油車輛上，如此將大幅降低訓練時產生之油耗成本、空氣汙染及提高引擎效能，達到訓練成效與環境維護之雙贏目標，因此未來使用共軌噴射系統的柴油引擎將會大量運用在軍用履帶車輛的新趨勢是不可避免的，身為國軍應與時俱進，除了可兼顧裝備性能與戰力外，同時可為這個地球的環境保護盡一份心力，從大方向來看與國軍保家衛國的使命相謀合。

參考資料

- 1.Denso 《Denso announces 2500 bar common rail injection system》 ,
<https://www.dieselnet.com/news/2013/06denso.php> , 2013/6/23
- 2.Tony kitchen《Welcome to a technical overview of Common Rail Diesel Fuel Systems》 , 2013/5/28
- 3.自動車原理 (TM9-8000)
- 4.賴海瑞,《現代柴油引擎新科技裝置》(全華圖書股份有限公司)(2012.11)
- 5.美軍原文 BOSCH MODEL PSB-12BT野戰保修手冊(TM9-2910-212-34&P)
西元1984年6月27日
- 6.2018 台灣賓士 www.mercedes-benz.com.tw
- 7.林振江、施保重《Bosch 共軌噴射燃料系統》專題
- 8.ICCT《A technical summary of Euro 6/VI vehicle emission standards》 ,
www.theicct.org 2016/7

作者簡介



姓名：周致熠

級職：少校教官

學歷：後勤學校專業軍官班 92 年、國防管理學院後管正規班 64 期

經歷：保養官、組長、兵工官，現任裝甲兵學校車輛組教官

電子信箱：軍網 usaf15d@webmail.tw

民網 usaf15d@yahoo.com.tw