

引擎簡介

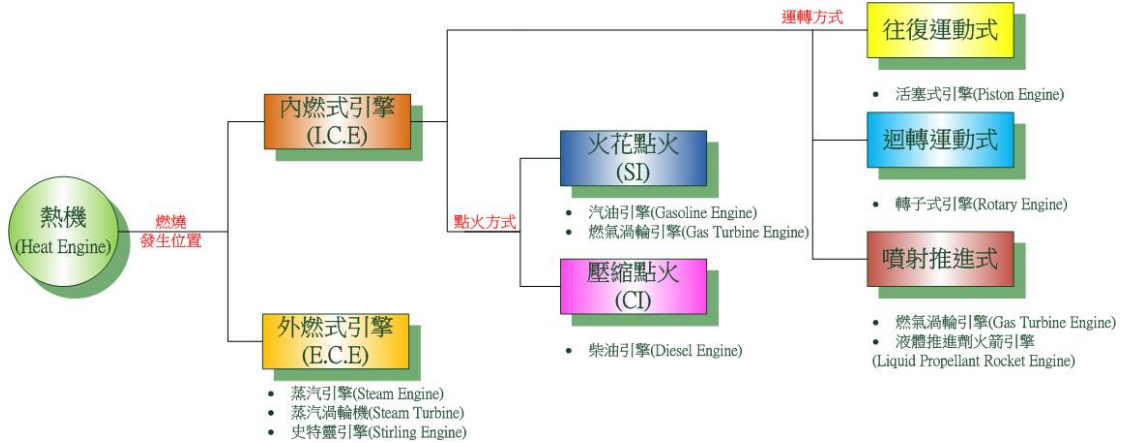
黃奕超

清華大學動力機械系

yichuang@mx.nthu.edu.tw

1. 引擎的定義

在機械工程學的定義中，凡利用熱能而產生動力的機械，統稱為熱機(Heat engine)，而熱機又分為內燃機與外燃機兩大類，燃料在熱機內部燃燒產生熱能，再將熱能轉變為機械動力者，皆稱為內燃式引擎 (Internal combustion engine)，俗稱為內燃機(簡記為 I. C. E.)，如汽油引擎、柴油引擎、燃氣渦輪機、噴射引擎等；而燃料在熱機外燃燒者稱為外燃式引擎 (External combustion engine)，俗稱為外燃機(簡記為 E. C. E.)，如蒸汽引擎、蒸汽渦輪機。在一般常見的內燃引擎中，依據燃燒點火方式，可區分為利用點火器(如火星塞)點火的火花點火(SI)引擎，及利用高壓高溫空氣使燃料燃燒的壓縮點火(CI)引擎，常見之汽油引擎屬於火花點火引擎，柴油引擎則屬壓縮點火引擎。又依據運轉型式來分，可分為以活塞作往復運動，並透過輪軸與連桿將其轉換為圓周運動的往復運動式引擎；及轉子與輸出軸作同軸運轉的迴轉運動式轉子引擎；以及將通過流體加速與排出來達到作功效果的噴射推進引擎，各引擎分類如圖一所示。



圖一、熱機類型示意圖

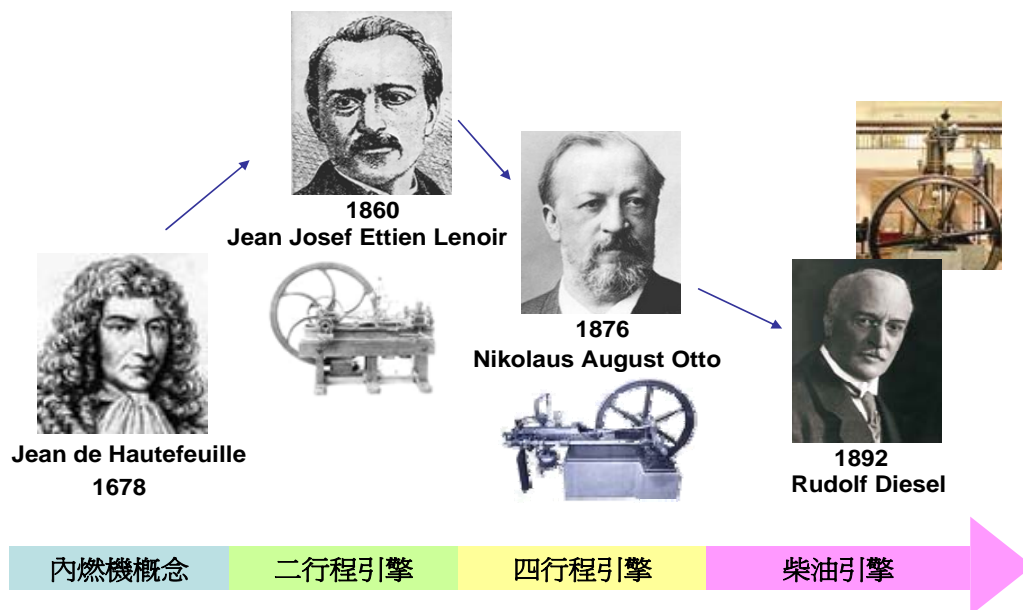
	系統特性	常見用途
外燃機	可獲得較大之輸出，但熱效率較低，需配備笨重的鍋爐、凝結器等附件。	僅用於固定且須大動力輸出之場合，如汽電共生廠、集中式電廠、各類廠房

內燃機	熱效率較高，構造較輕巧，體積較外燃機而言大幅縮小。	衍生種類繁多，取代外燃引擎，大量使用於車輛、船舶、航空等動力來源。
-----	---------------------------	-----------------------------------

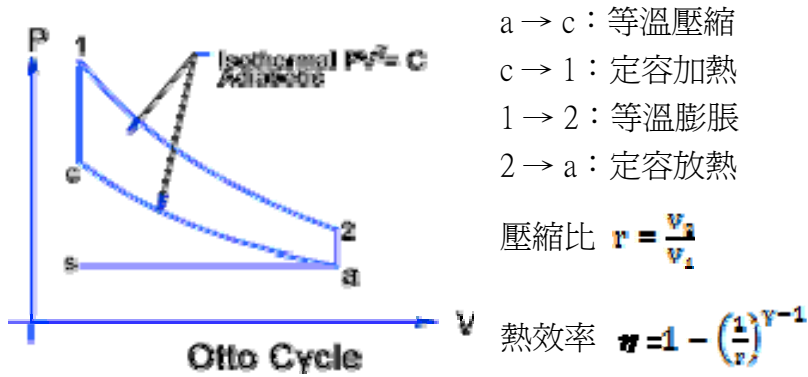
表一、內、外燃機特性比較

2. 內燃機的發展史

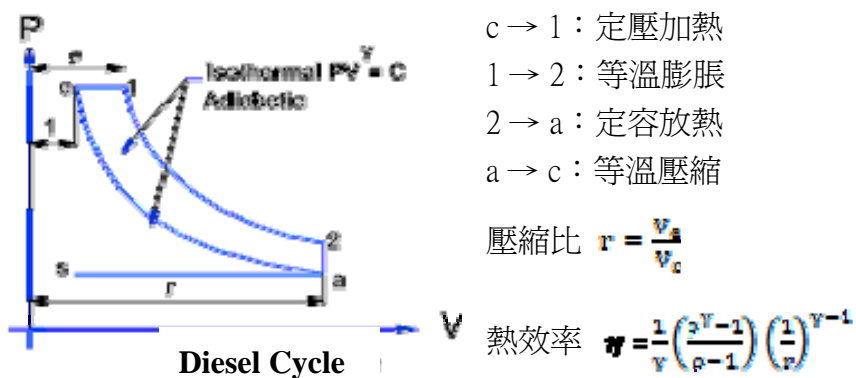
綜觀整個內燃機發展史，可追溯至十七世紀末，西元 1678 年法國人賀德法利 (A. Hautefeuille)，首先利用火藥在氣缸中的爆炸力推動活塞作功，這是內燃機最早的雛型，賀德法利也因此可說是內燃機的開山祖師；1860 年法國人李諾爾 (Lenoir) 改良自蒸汽引擎，發展出一種不需壓縮的氣體燃燒式引擎，並被公認是實用二衝程引擎的鼻祖；1876 年德國人奧圖首先製造出四衝程的引擎，後世為紀念奧圖的功績，於是將此型引擎命名為奧圖引擎，而其熱力循環則稱為奧圖循環(Otto cycle)，直到今天大多數汽車引擎都仍是採用奧圖引擎，此外，由於奧圖引擎的燃料幾乎全部採用汽油，因此奧圖引擎又名為汽油引擎 (Gasoline engine)；在奧圖發明了第一具四行程內燃引擎後，當時許多工程師都致力於內燃機的發展，且多以火花點火引擎為發展方向，如 Mercedes-Benz 的創辦人戴姆勒，正是將汽油引擎應用於車輛的始祖。但由於當時點火裝置技術並不成熟，德國人狄賽爾(Diesel)便朝向壓縮點火方向，發展內燃機技術，也就是先將汽缸內的空氣壓縮，使其溫度逐漸上升，再將燃料注入燃燒室，燃料因高溫高壓而自燃，產生引擎所需動力，在經過將近二十年的研發後，第一具壓縮點火引擎於 1892 年問世，同年狄賽爾(Diesel)也取得此項技術專利，其熱力循環也因此被稱為(Diesel cycle)，而由於此型引擎的燃料大多採用柴油，因此又名為柴油引擎 (Diesel engine)。



圖二、內燃機發展歷史



圖三、Otto cycle 循環圖



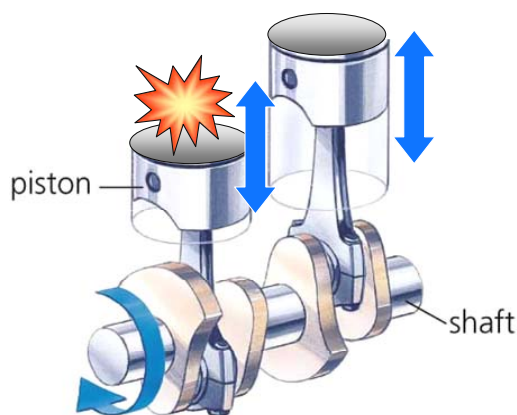
圖四、Diesel cycle 循環圖

3. 內燃機的構造及原理

內燃機雖然都是在熱機內部燃燒燃料，並利用燃燒產生的氣體膨脹推動機械運動，但由於設計不同或使用燃料不同，而使動作原理及構造有所不同，若依動力的發生方法，大致可分類為往復式內燃機、迴轉式引擎、燃氣渦輪引擎等。

(1) 往復式內燃機(Piston Engine)

利用燃氣爆炸產生之力驅動活塞於汽缸內往復移動，進而帶動與活塞相連之區柄軸輸出動力，如四行程引擎、二行程引擎。

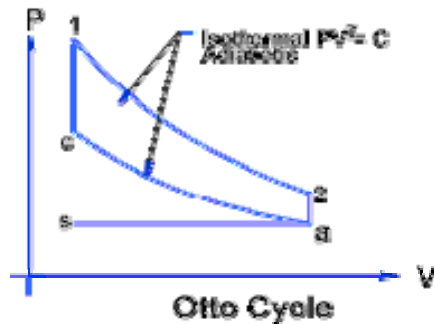


圖五、往復式內燃機示意圖

■ 四行程引擎(Four Stroke Engine)

四衝程的引擎完成一次循環，必須經過「進氣、壓縮、動力、排氣」四個步驟，其作動的程序分別是：

- 1.) 進氣行程：活塞往下且進氣閥打開，將空氣與燃料的混合氣吸入汽缸中。
- 2.) 壓縮行程：進氣閥關閉且活塞往上，壓縮此混合氣使其體積變小。
- 3.) 爆發行程：在壓縮的混合氣中點火，使氣體燃燒爆發並推動活塞往外作功。
- 4.) 排氣行程：此時排氣閥打開且活塞再度往上，將燃燒後之廢氣排出汽缸。

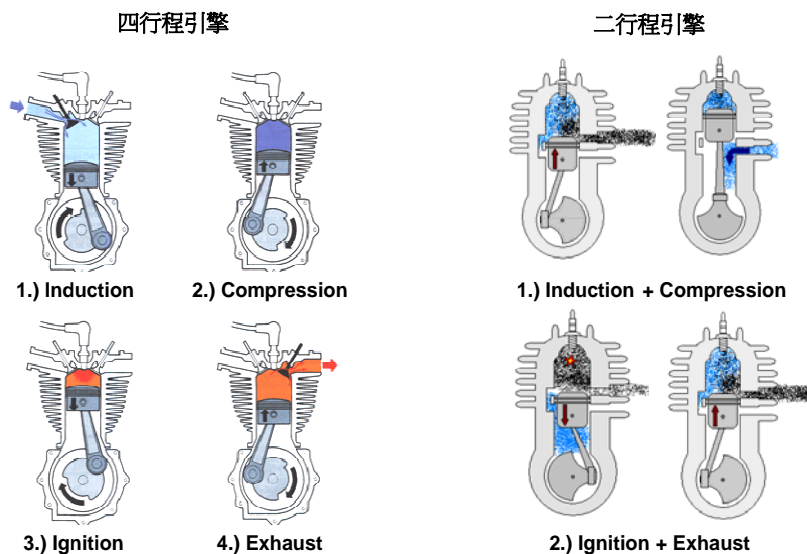


- a → c：壓縮行程
- c → 1：爆發行程-點火
- 1 → 2：爆發行程-作功
- 2 → a：排氣、進氣行程

圖六、四行程引擎之Otto cycle循環圖

■ 二行程引擎(Two Stroke Engine)

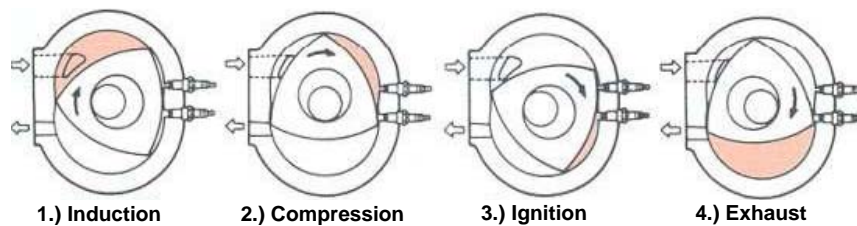
在四行程引擎的四個行程中，只有一個行程會產生動力，二行程引擎則將進氣和壓縮混合氣的動作，合在同一行程裡進行，而將爆發與排氣的動作，在接下來的行程中同時進行，所以二行程引擎是兩個行程中，就有一個行程能產生動力，二行程引擎在結構上很簡單，但是在運轉過程中涉及到的力學卻很複雜，二行程引擎需要的活動零件比四行程引擎少，且構造較輕巧，但由於其在排氣時亦同時進氣，故容易將未燃的氣體排出，造成燃料的浪費和空氣的污染，基於這些原因，今日的汽車引擎已絕少採用二行程設計，部份發達國家更開始限制摩托車與各類手持裝置使用二行程引擎。



圖七、二行程、四行程引擎比較圖

(2)轉子式引擎(Rotary Engine)

又稱為三角旋轉活塞發動機，是四行程內燃機的一種，由德國工程師菲力·汪克爾 (Felix Wankel) 在1959年時發明，因此又稱為汪克爾引擎(Wankel engine)，與傳統的往復式活塞引擎不同的是，轉子引擎的基本結構是在一個橢圓形的燃燒室裡面，放入一個三角形的轉子，三角形轉子將燃燒室劃分為三個獨立的區域，由於三角形轉子採偏心運轉，因此這些被隔開來的獨立區域在引擎運轉的過程中，其體積會不斷地改變，工程師就是利用這空間會改變的特性來達成四行程運轉所需要的進氣、壓縮、點火與排氣過程，如果與傳統往復式活塞引擎相比較，轉子引擎的每一個轉子都相當於活塞引擎的三個汽缸，因此具有小排氣量就能成就高動力輸出的優點，另外，由於轉子引擎的軸向運轉特性，使它不需要精密的曲軸平衡就可以達到非常高的運轉轉速，除了較高的容積效率與高轉速運轉的能力之外，轉子引擎的優點還包括了體積小巧重量輕，低重心等等，但相對的，由於轉子引擎的每個燃燒室之間並非完全隔離，在引擎使用一段時間之後很容易因為油封材料磨損而造成漏氣問題，大幅增加油耗與污染，獨特的機械結構也造成這類引擎維修不易。



圖八、轉子引擎之四行程步驟

❖ 轉子引擎研究單位與製造商：

馬自達汽車有限公司 (マツダ株式会社, MAZDA Motor Corporation)

最初，轉子引擎專利權屬於德國的NSU車廠所有 (NSU是今日奧迪 (Audi) 車廠的組成前身之一)，雖然在初期包括美國的通用汽車集團 (GM) 與日本的豐田

(Toyota) 都對這種設計有興趣，但在經過短期實驗發現量產化的困難度比預期為高之後，日本的馬自達成為唯一一家還堅持投資轉子引擎發展的車廠。在簽約取得轉子引擎的專利權之後，Mazda自1970年代起陸續推出了多款轉子引擎動力的車款，包括今日碩果僅存的一輛量產轉子引擎車——Mazda RX-8。

馬自達當年也因為過度堅持轉子引擎技術，投入過多經費加上營收不如預期，因而被福特集團介入併購成為旗下的一個車廠，除屬於馬自達精神的轉子引擎外，其他技術都與福特集團共同分享。

(3) 噴射推進式引擎(Jet Engine)

是一種依靠牛頓第三定律作功的內燃機，藉由加速與排出高速流體產生反作用力來輸出推力。其中又可分為需要吸入周圍介質，與內部推進劑混合進行燃燒來產生推進力的吸氣式引擎類，燃氣渦輪引擎即為常見的一種；以及不需吸入周圍介質，單靠儲存於飛行體內部的推進劑燃燒，即可產生推進力的火箭引擎類。「推進劑」是指在推進過程中所燃燒噴出的物質，於燃氣渦輪引擎中指的是石化燃油，於火箭引擎中指的是氧化劑與燃料。

燃燒推進劑需要能源，能源有很多類型，已知的有：(1)化學燃燒反應能；(2)核子反應能；(3)放射物所發出之放射能，但目前只有化學推進類達到實用階段，核子推進與放射能推進尚屬於理論層級。下表列出各種化學推進引擎之能源與推進劑之型態：

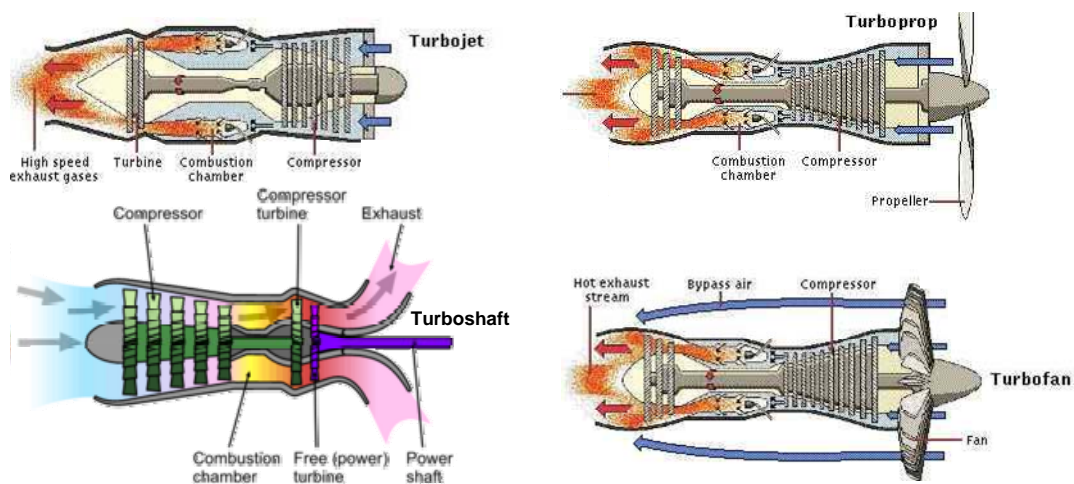
推進型態	能源型態	
	化學能	實際應用
周圍介質加上內部儲存推進劑 (吸氣式引擎)	渦輪噴射 衝壓式噴射 導管火箭	747 噴射客機 X-43A 試驗機 巡弋飛彈
儲存在飛行體內之推進劑 (火箭引擎)	液體推進劑火箭 固體推進劑火箭 混合推進劑火箭 帶電池之電氣火箭	農神 5 號登月火箭 太空梭固體助推器 無 無

表二、各種化學推進引擎之能源與推進劑之型態

■ 燃氣渦輪引擎(Gas Turbine Engine)

在燃氣渦輪引擎中，主要由壓縮機 (Compressor)、燃燒室 (Combustion chamber)、渦輪 (Turbine) 等部份構成。渦輪的目的在於將氣流的能量轉換為機械能，其葉片構造為翼剖面，與螺旋槳及飛機機翼相似。當氣流流過時產生作用力，對轉子葉片作功而使其轉動，因此能將氣流的能量轉換成機械能輸出，氣流在通過渦輪後，溫度與壓力都會下降。

新鮮空氣由進氣道進入燃氣渦輪引擎後，首先由壓縮機加壓成高壓氣體，接著由噴油嘴噴出燃油與空氣混合後，在燃燒室進行燃燒成為高溫高壓氣體，然後進入渦輪段推動渦輪，將熱能轉換成機械能輸出。而由渦輪輸出的機械能中，大部份會用來驅動壓縮機，剩下的則用來產生推力或經由傳動軸輸出，用以驅動如螺旋槳、發電機、傳動系統等。依據燃氣渦輪引擎之動力輸出構型，又可将燃氣渦輪引擎區分為渦輪噴射引擎(Turbojet engine)、渦輪風扇引擎(Turbofan engine)、渦輪旋槳引擎(Turboprop engine)、渦輪軸(Turboshaft engine)引擎四大類。



圖九、各種燃氣渦輪引擎構造圖

由於燃氣渦輪引擎有許多優點超越傳統往復式引擎，可以產生更高能量密度與效率，表示引擎的體積更小而輸出動力更大，因此現在的大型高速飛機幾乎都使用渦輪噴射引擎做為動力來源。而傳統的往復式螺旋槳飛機(活塞式螺旋槳飛機)除了受限於引擎性能限制外，在高速飛行時螺旋槳轉速超過音速也會因為音障導致效率明顯下降，所以往復式螺旋槳飛機難以進一步提高飛行速度，目前多用於中、小型低速飛機。

❖ 燃氣渦輪引擎研究單位與製造商：

1. 美國通用飛機發動機集團 (GEAE, General Electric Aircraft Engines)
 GE 為美國首架渦輪噴氣機提供了發動機，並繼續開發出諸如 GE90 和 GEnx 等產品。目前 GEAE 為民用飛機、公務機、軍用機和船舶等眾多行業提供發動機產品，同時提供技術升級以及發動機置換等服務。
2. 普惠集團 (PW, Pratt and Whitney)
 普萊特和惠特尼 (Pratt & Whitney)，簡稱普惠，是美國一家飛行器發動機製造商，許多民用和軍用飛行器都使用普惠的產品。普惠是世界三大航空發動機製造商之一，主要競爭對手為通用電氣和勞斯萊斯。普惠也生產工業、發電、海上、和鐵路用燃氣渦輪發動機，與火箭發動機。普惠是聯合技術公司 (United Technology Company) 的旗下一員。
3. 勞斯萊斯 (Rolls-Royce, 又譯羅爾斯·羅伊斯)
 勞斯萊斯 (Rolls-Royce) 是指一系列的公司，是從1906年由亨利·羅伊斯 (Henry Royce) 和查爾斯·羅爾斯 (Charles Rolls) 創建的英國汽車與飛機發動機製造公司分離而來的。

勞斯萊斯股份有限公司 (Rolls-Royce PLC)：一家專業從事渦輪產品生產的英國公司，尤其是飛機發動機。最近也開始涉足船用推進和能量系統，以期在民用和軍用領域提供廣泛的發動機產品和服務。

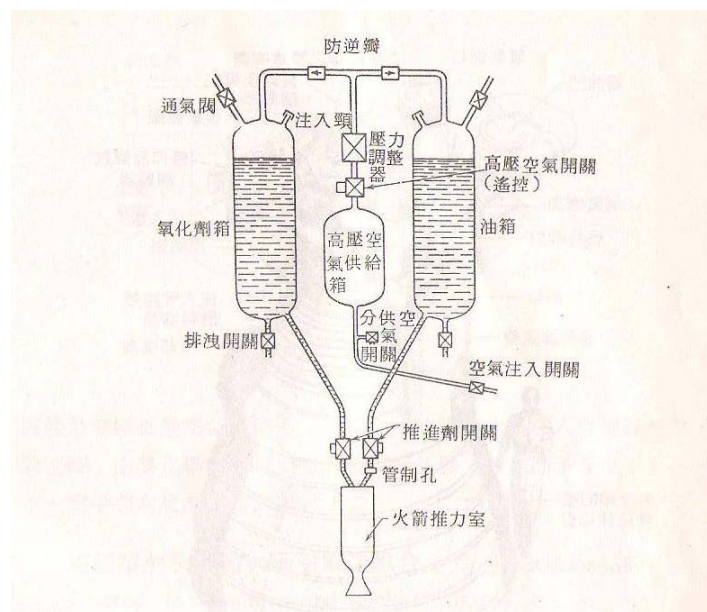
■ 火箭引擎(Rocket Engine)

火箭引擎也可視為轉變「能量」型態之一種機構，以噴出儲存於內部之物質而產生動量，在火箭推進過程中所噴出的物質稱為「推進劑」。

一般而言，將燃料與氧化劑(兩者合稱推進劑)在高溫高壓下燃燒以產生推力之引擎稱為化學火箭引擎。其產生的氣體溫度高達 4,500~7,500°F，這些氣體在噴嘴內膨脹而產生甚高的速度(6,000~14,000 呎/秒)，依據推進劑之物理狀態又可分为：

■ 液體推進劑火箭(Liquid Propellant Rockets)

使用液體推進劑，在高壓下由容器壓入推力室，下圖所示為一典型加壓液體推進劑火箭引擎略圖。液體推進劑通常包括液態氧化劑(如液態氧)及液態燃料(如汽油)。

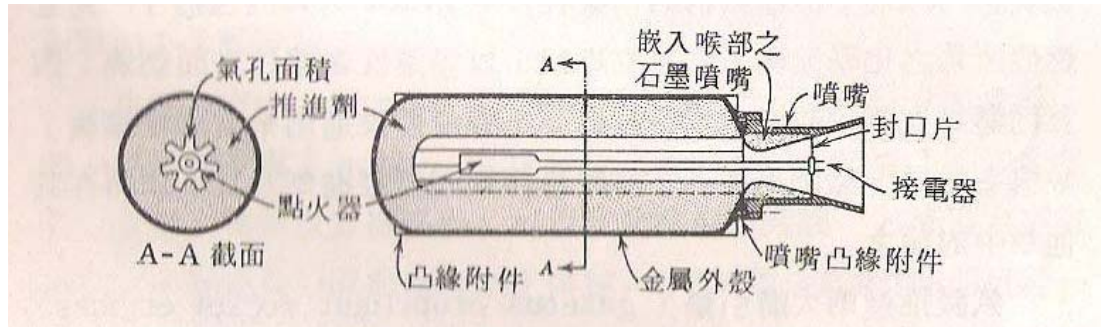


圖十、液體推進劑火箭構造圖

在推力室中(Thrust Chamber)，推進劑燃燒變為高熱氣體，經一超音速噴嘴加速後以高速流出，從而產生動量之變化。如果推力室有適當的冷卻設備，僅靠推進劑之供給可使液體火箭操作時間超過一小時。但液體火箭推進系統之結構相當複雜，需要各種汽瓣及複雜進給系統，其中包括推進劑唧筒、渦輪或推進劑加壓設備，及相當複雜的推力室。

■ 固體推進劑火箭(Solid Propellant Rockets)

其推進劑在燃燒室內燃燒，惟進藥稱為“藥柱”(Grain)，其內包括了一完全燃燒所需之化學元素，一旦點燃後以等速度在藥柱表面燃燒。因為固體推進劑火箭沒有進給系統，不像液體推進劑系統那樣繁複，故構造簡單。



圖十一、固體推進劑火箭構造圖

Reference :

1. George P. Sutton, *Rocket Propulsion Element*, Rocketdyne, a Division of North American Aviation, Inc., 1967.
2. 高寶泰·陸式祥，*火箭推進原理*，協志工業叢書出版股份有限公司，1977。

❖ 火箭引擎研究單位與製造商：

1. 洛克達因公司 (Rocketdyne，以下簡稱洛克達因) 是美國的一家主要從事液體燃料火箭發動機設計研發的公司。正式名稱為普萊特和惠特尼洛克達因有限公司 (Pratt & Whitney Rocketdyne, Inc.)。洛克達因是聯合技術公司的全資子公司，總部位於加利福尼亞州卡諾伽園。其試驗基地位於西棕櫚灘、漢茨維爾、甘迺迪太空中心和斯坦尼斯太空中心。

洛克達因也是NASA的主要發動機供應商，提供了用於土星火箭的大部分發動機。其中H-1發動機用在土星一號助推器第一級，總共八台發動機。F-1發動機用在了土星五號的第一級 (S-IC)，五台J-2發動機驅動火箭的第二級

(S-II)，一台J-2驅動第三級 (S-IVB)。到1965年，美國火箭所使用的發動機絕大部分都由洛克達因提供，僅泰坦系列除外。70年代，公司又簽下了太空梭主發動機的供貨協議。北美航空成為太空梭製造商之後，幾乎把全部人力投入太空梭製造。1966年，北美航空與洛克維爾合併成立了北美航空洛克維爾公司，數年之後改名為洛克維爾公司 (Rockwell International)，而將洛克達因作為一個最大的分部。

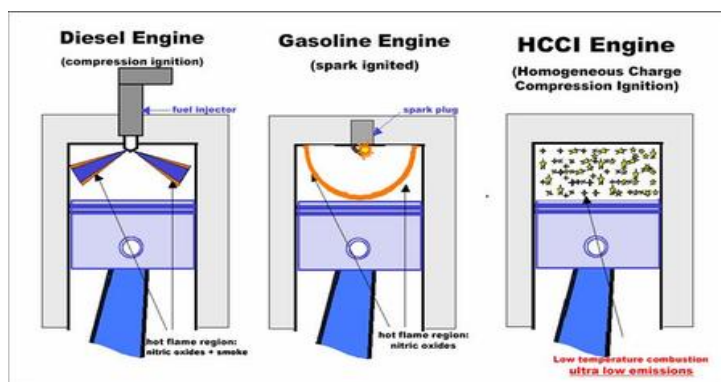
2. 韋克曼太空探測器與推進器公司 (Wickman Spacecraft & Propulsion Company)。在1995年和噴射推進實驗室合作，共同研製和發展火箭發動機和

噴射發動機。這種發動機可以通過直接燃燒火星大氣層中的二氧化碳以產生動力。

目前生產的火箭應用範圍有：

- (1)Earth to Orbit
- (2)Earth - Lunar Corridor
- (3)Mars
- (4)Military - Defense

4. 內燃機未來發展趨勢



圖十一

目前以內燃機做為動力，所面臨最大的問題有二方面，第一是需要依賴日漸減少的石化燃油做為燃料，第二則是燃燒後所衍生的空氣污染物等問題，為解決上述兩大困擾，在未來的內燃機設計上，將必須朝向高燃燒效率、低燃燒溫度及先進觸媒轉換系統等方向進行，例如加裝電子噴射系統(EMS)，利用電子控制單元來控制引擎噴油與點火的裝置，或是透過均質混合氣壓燃(HCCI)等新技術，均可使引擎在最佳的狀況下運轉，以有效的降低排氣污染及改善油耗；依據實測結果，使用新一代技術之低污染噴射內燃引擎，不僅污染排放值大幅減少百分之五十以上，其油耗亦能減少約百分之十八以上，且啟動、耐久性均較傳統內燃引擎為佳；而除了內燃機本身的性能提升外，目前亦出現結合內燃機引擎與電動馬達優點的混合式動力系統，以在不同的動力輸出範圍下，提供複合系統最佳的操作效率。

- 文末附上本文中所提到之引擎類型與應用的機具或交通工具列表：

	機具	使用引擎	類型
車輛類	轎車	汽油引擎	活塞式引擎 轉子式引擎
	載貨汽車	柴油引擎	活塞式引擎
	機車	四行程引擎 二行程引擎	活塞式引擎
	蒸汽火車	蒸汽引擎	外燃機
飛行器類	螺旋槳飛機	活塞式引擎	活塞式引擎
	噴射客機	燃氣渦輪引擎	噴射推進式引擎
	登月火箭	液體推進火箭引擎	噴射推進式引擎
	太空梭固體助推器	固體推進火箭引擎	噴射推進式引擎
船舶類	郵輪	蒸汽渦輪機 柴油引擎	外燃機 活塞式引擎
	航空母艦	核子反應爐推動蒸 汽渦輪機	外燃機
	柴電動力潛艇	柴油引擎	活塞式引擎
	核子動力潛艇	核子反應爐推動蒸 汽渦輪機	外燃機
發電機類	火力發電機	蒸汽渦輪機	外燃機
	集光式史特靈引擎	史特靈引擎	外燃機

表三、各種使用引擎之機具與引擎類型一覽表