



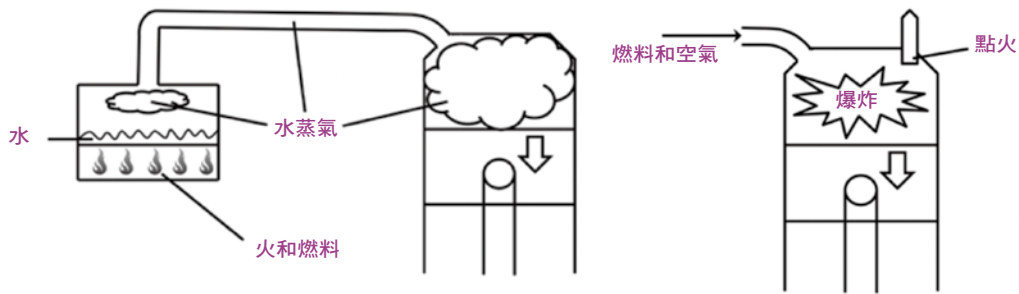
■ 曾逸敦

引擎 的重要零件及構造

發展已超過百年的引擎，
雖然看起來十分複雜，
但其基本運作原理卻很簡單。



外燃機及內燃機



引擎可分為外燃機及內燃機兩類，最早期的引擎其燃燒的地方在汽缸外部，推動活塞的力來自因燃燒而被加熱的液體，其產生的反應可對活塞產生推力，所以叫做外燃機。而後來改良的引擎其燃燒行為是在汽缸內部進行，經由燃燒產生的爆發力直接推動活塞轉變為機械能，因此叫做內燃機。目前內燃機引擎大概可分為四行程和二行程，四行程具省油優點成為汽車引擎主流。

引擎運作原理

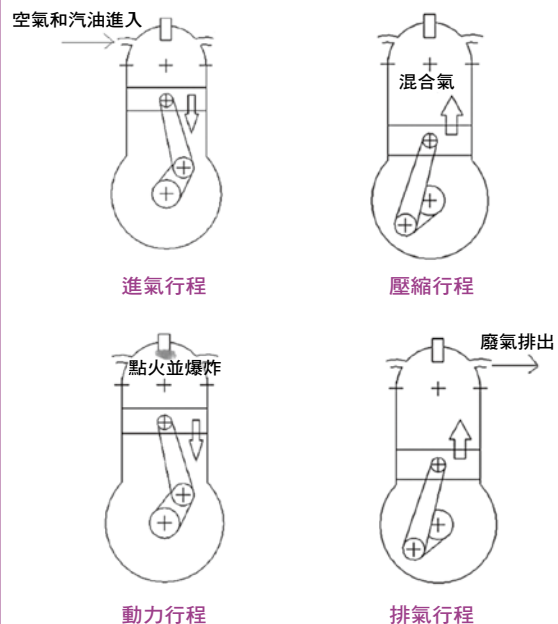
四行程引擎之所以稱做四行程，是因為活塞在運作時，會以二上二下、四次動作為一個周期來輸出一次動力，四個行程詳細說明如下。

進氣行程—活塞在汽缸內自上死點向下行移動至下死點時，左上方進汽閥門打開，而右上方排汽閥門關閉，把新鮮空氣和汽油的混合氣吸入汽缸內。

壓縮行程—進汽閥門和排汽閥門都關閉，活塞由下死點上行移動至上死點，壓縮汽缸中的混合氣使體積縮小，以達到提高混合氣溫度（氣體在壓縮後溫度會上升）的效果，從而有利於混合氣的燃燒。

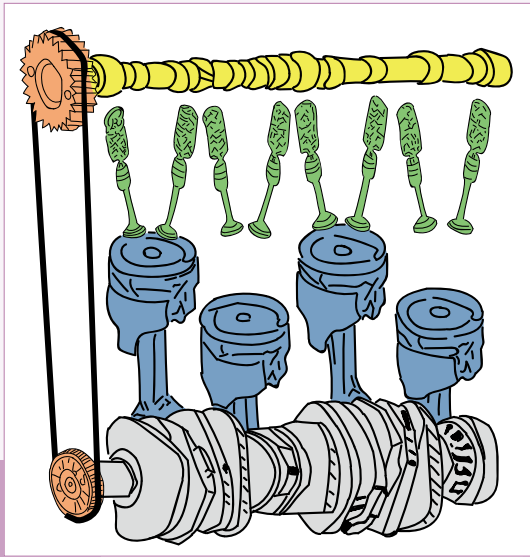
動力行程—這時進汽閥門和排汽閥門都關閉，火星塞適時發出高壓電火花，把溫度很高的混合氣點燃，使其燃燒爆炸產

四行程引擎的四個行程



生巨大的壓力，把活塞從上死點推至下死點，進而推動曲軸做功產生動力。

排氣行程—活塞自下死點上行移動至上死點時，這時進汽閥門關閉，排汽閥門開啟，汽缸中已燃燒過的廢氣由活塞向上移動時經排汽閥門排放至大氣。



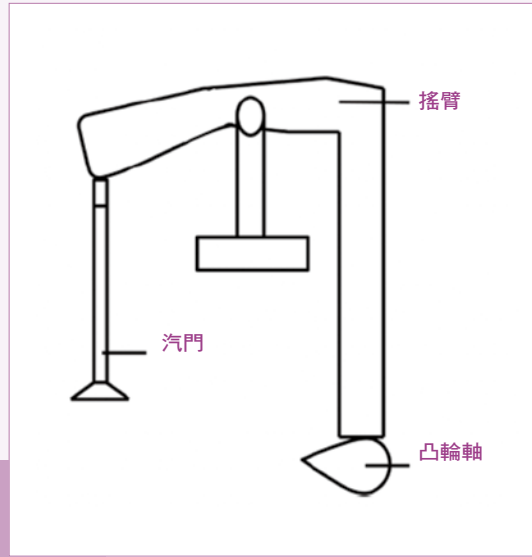
引擎重要零件

引擎重要零件

最上面凸輪軸上的進氣凸輪及排氣凸輪分別控制其下方的進汽閥門和排汽閥門，使得新鮮空氣和汽油的混合氣進入汽缸內，連帶推動活塞，而後連桿因為活塞的移動而帶動曲軸。在進氣、壓縮、燃燒爆炸、排氣四個行程中，曲軸要轉兩周，而進汽閥門和排汽閥門只需動作一次，因此必須讓凸輪軸轉速是曲軸轉速的一半，才能上下合拍，達到正時。在正時系統中，凸輪軸齒輪直徑是曲軸齒輪直徑的兩倍，讓其轉速合拍。

凸輪軸 凸輪軸是控制進汽閥門和排汽閥門的裝置，當突起部位接觸到汽門時，汽門就會打開，進行進氣或排氣的動作。此外，會同時控制其他的機件，例如分電盤、汽油泵等。凸輪軸的位置通常有兩種方式：頂置汽門式、頂置凸輪軸式。

頂置汽門式—頂置汽門式中的凸輪軸會放在汽門的旁邊，和汽門之間有搖臂連接。搖臂的動作類似於蹺蹺板，當凸輪軸突起的部分使右邊向上時，另一邊就會下降推動汽門。



頂置汽門式

頂置凸輪軸式—頂置凸輪軸式中的凸輪軸位於汽缸蓋的上方，又可以分出兩種類型：一個凸輪軸控制所有汽門的單頂置凸輪軸、兩個凸輪軸分別控制進汽閥門和排汽閥門的雙頂置凸輪軸。

單凸輪軸是指引擎內只有一支凸輪軸同時推動進汽閥門和排汽閥門，以每汽缸二汽門的單凸輪軸引擎為例，機械結構簡單維修容易、低轉速扭力較大、使用耐久性較好，成本較低。但因為進排氣都只由一條凸輪軸控制，高轉速的時候導致發動機吸氣不足，排氣不完全，會顯得力不從心，影響進排氣效率，而使得扭力輸出下降。

雙凸輪軸則有專門負責進汽閥門開關的凸輪軸和專門負責排汽閥門開關的凸輪軸。雙凸輪軸引擎擁有驅動汽門的直接性，使汽門有較佳的開閉過程，而提升汽缸在進氣和排氣時的效率，且火星塞可以裝置在汽缸蓋中間的區域，使混合氣在汽缸內部可以獲得更好更平均的燃燒，但製造工藝複雜，成本較高，維修技術也比單凸輪軸困難。

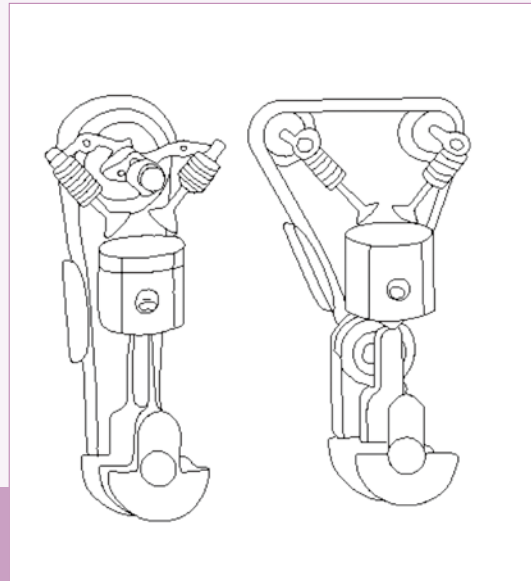
汽門 每一個汽缸都有兩種汽門：用來讓新鮮空氣進入以提供燃料的進汽閥門、排除掉燃燒後產生的廢氣的排汽閥門。汽門的構造中的汽門導管，用於引導汽門在推進時的方向，以避免行進方向歪斜；汽門桿油封用於避免機油經由導管和滑動的部分流入燃燒室；汽門彈簧則用於維持氣密狀態以防止漏氣。

理論上汽門的數量越多，引擎的性能越好。但汽門越多，設計的複雜度越高，不管是汽門驅動方式還是燃燒室的構造都需要精密的安排，技術含量也會提高。就結果而言，會提高製造成本，維修時也更加困難。因此現在流行的是一個汽缸中放棄每缸 5 汽門的設計，而採用 2 進汽閥門與 2 排汽閥門的 4 汽門構造。

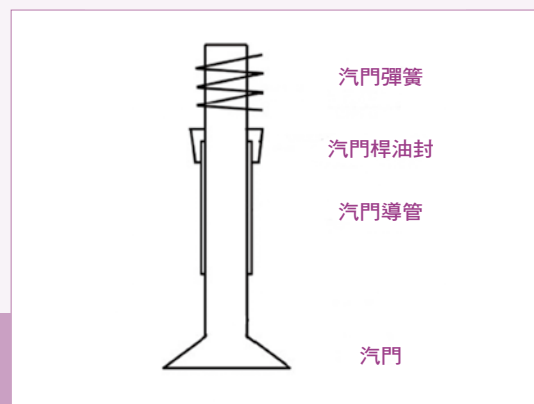
活塞 活塞是和連桿相接，在汽缸中上下移動給予曲桿動力的重要零件，不但要承受爆炸時的強大壓力及熱量，速度在往返運動時還會達到 20 m/s，因此對於材質和設計精度都有較為嚴格的要求。在材料上通常以鋁合金製作，鋁合金具備以下特性：比鋼或鑄鐵輕、具有良好的導熱性、有良好的強度及耐磨損、具有較高的熱膨脹係數。

活塞的頂部由於會直接暴露在高溫中，跟底部相比熱膨脹的程度比較大，為了彌補這方面的差異，活塞頂部的半徑會設計得比底部小。活塞的外圍會裝上活塞環，用來維持活塞和汽缸間的氣密性，防止漏氣和漏油，也能把活塞的熱量傳到汽缸壁達到散熱效果。活塞的下部稱為活塞裙，用來讓活塞在運作時保持垂直狀態，同時能減少噪音和摩擦。

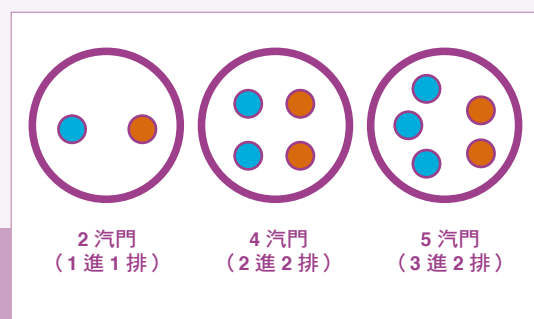
連桿 連桿是連接活塞和曲軸之間的零件，連接活塞的一端是小端，連接曲軸



單凸輪軸（左）及雙凸輪軸（右）。



汽門結構



汽門排列



的一端稱為大端。在運轉時，小端會隨著活塞做直線往復運動，大端則跟著曲軸做圓周運動。因此連桿會承受相當大的應力作用，為了增加強度，連桿的斷面設計成H型。連桿的材質有白金屬（錫銻合金）、油膜承軸合金（銅鉛合金）等，最常使用的則是鋁合金。大端和曲軸相接的部分會有縫隙，稱為油隙，油隙的大小需要經過設計，若太小，曲軸會有卡住的危險，若太大，引擎的震動和噪音會增加。

曲軸 曲軸是把活塞產生的直線運動轉換成旋轉運動的零件，和活塞之間有連桿連接，其轉換的原理就像是平常騎自行車一樣，腳的動作是連桿和活塞，而腳踏板就是曲軸。引擎在進行四行程時，控制汽門的凸輪軸在一個周期中只要轉一圈，曲軸卻必須轉兩圈，因此為了合拍，帶動凸輪軸的齒輪直徑是曲軸的兩倍。

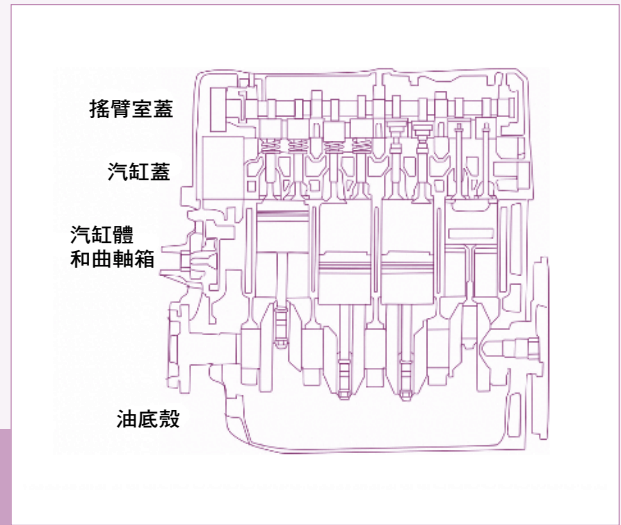
正時系統 在進氣、壓縮、燃燒爆炸、排氣四個行程中，曲軸要轉兩周，而進汽閥門和排汽閥門只需動作一次，必須讓凸輪軸轉速是曲軸轉速的一半，才能上下合拍，達到正時。因此凸輪軸齒輪直徑是曲軸齒輪直徑的兩倍，以使它轉速慢下來，而這兩齒輪就是經由正時鍊條連在一起。

引擎基本結構

引擎整體的基本結構（以直列式引擎為例）從側面看、由上到下，依序是搖臂室蓋、汽缸蓋、汽缸體和曲軸箱、油底殼四大部分。

搖臂室蓋 位於引擎最上層的構造，是一個油密蓋，可防止凸輪軸中的潤滑油外漏，有一個用來加入潤滑油的加油口。

汽缸蓋 汽缸蓋位於汽缸頂部，最上方是凸輪軸軸承用以放置凸輪軸，前後方有進氣和排氣的孔，透過進汽閥門及排汽



引擎基本結構

閥門和活塞形成燃燒室。活塞在底部上下活動進行行程，由於會產生高溫，因此汽缸蓋以鋁合金製作，重量輕並有著很好的散熱效果。

汽缸體 一般常講的汽缸體，嚴格來說應該指的是汽缸體加上曲軸箱，但由於這兩者是結合在一起，因此就共同稱作汽缸體。汽缸體是活塞進行往復運動的地方，通常以鑄鐵製造，具有強度大、耐磨耗的特性。有些汽缸會裝上汽缸套作為活塞進行往復運動的導管，內壁鍍有多孔性鉻，使其有吸油性，提高了潤滑性、氣密性和耐磨性。

其中又以汽缸套的外壁和冷卻水套的接觸有無，分為溼式和乾式。乾式汽缸套雖然沒有冷卻水密封的問題，但散熱效果沒有溼式汽缸套好，且拆卸困難，成本較高。雖然理論上來說，汽缸數越多引擎的動力越大，但需要的零件也隨之增加，構造也更複雜，重量和製造成本會跟著增加。

油底殼 油底殼位於引擎最下方，是用來儲存潤滑用的機油並進行冷卻的地方。

引擎周邊

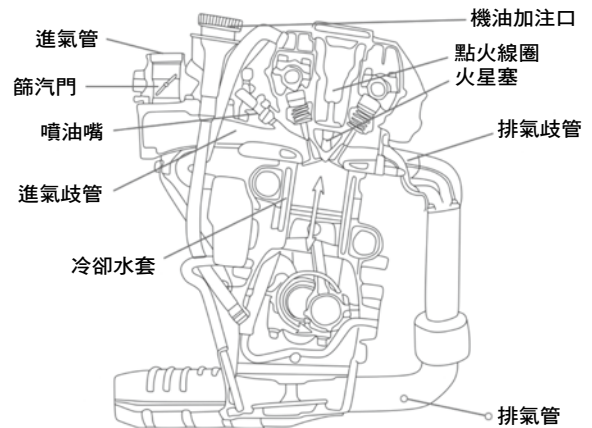
最後引擎還需要其他周邊零件，首先是進氣及排氣歧管。當你踩下車子的加油板時，加油板會透過一個線索轉動節汽門，這時空氣就會由進氣管經過節汽門進入進氣歧管。噴油嘴安裝在進氣歧管尾端，電腦根據進來的空氣流量噴出對應的油而形成混合氣，由進汽閥門進入汽缸內。

排汽閥門會在四個行程的最後開啟排出廢氣，讓廢氣進入排氣歧管，再由排氣管排至大氣。同時機油加注口可進行機油添加，機油會進入引擎內，同時其中附有量尺，可觀察機油量是否充足。火星塞上面的點火線圈則提供高壓點火。活塞旁的冷卻水套是冷卻水通道，用以降低引擎溫度。

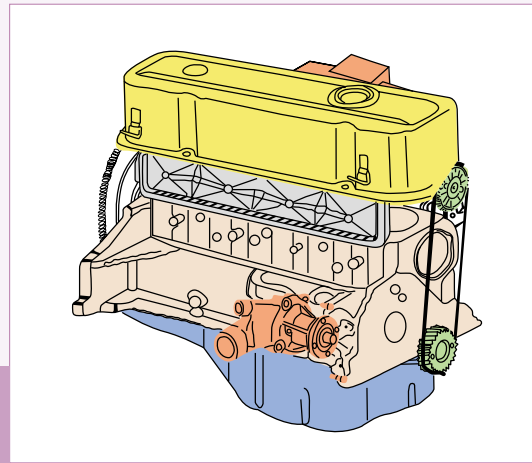
汽缸排列方式

一輛汽車中不會只有一個汽缸，而這複雜的引擎又會因排列的方式而衍生出不同的種類。像是常有人說「V8」，這就是其中一種汽缸排列方式，「V」是排列方式，「8」則是汽缸的數量。汽缸的排列有很多種，以下列出主要的幾種。

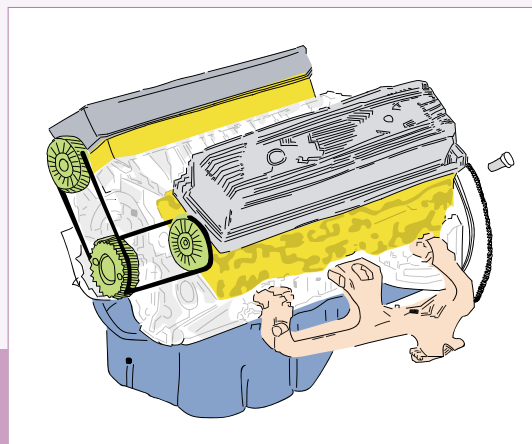
直列式引擎 直列式代表引擎的所有汽缸都排列在同一平面上，引擎代號大多以L或I呈現。不過一般來說只有L4和L6而已，L4是最常用的。直列式引擎最大的特點在於直列引擎的曲軸和車輛傳動軸平行，可以減少一次的傳動方向轉換，不僅可以降低動力的損耗，同時可以降低成本。不過直式引擎也不是完全沒有缺點，在汽缸保持在同一直線的情形下，受限於車體引擎室大小，可以對應的汽缸數不如V型、水平對臥等引擎多，而且引擎本身的功率較低，引擎震動也會較大。直列式引擎常用在現今的小型車中。



引擎周邊零件



直列式引擎示意圖



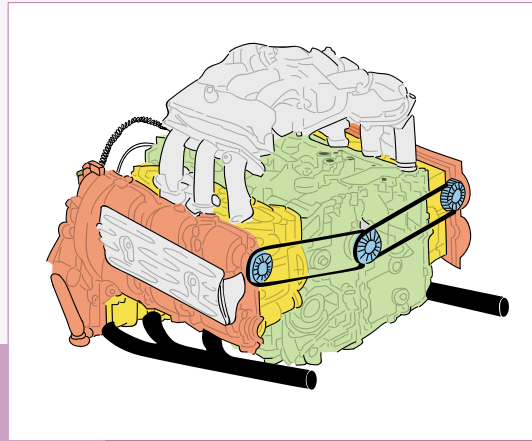
V型引擎示意圖

V 型引擎 V 型引擎是指活塞引擎的汽缸分列在曲軸的兩側，在該方向上呈現 V 字形。這種排列方式相較於水平直線排列的設計，可以減少引擎的長度和高度。V 型引擎的汽缸排列並非垂直於曲軸，而是有一個角度，兩排汽缸之間的角度取決於汽缸的數量、運作順暢的考量而有不同。V 型引擎擺放的角度依照汽缸數的不同有 60、90、120 度 3 種常見的角度，其中 90 度是最好的角度。V 型引擎雖然節省空間，但重量相對較重，容積效率也較低。

W 型引擎 W 型引擎是以 V 型引擎為基礎，兩側的汽缸每一對都和前一對的汽缸錯開些微的角度，看起來彷彿就像有 2 個 V 形成一個 W。W 型引擎的體積比 V 型引擎的體積更小，重量較輕，馬力較大，但結構複雜造成成本增加，運作時會有很大的震動。

水平對臥式引擎 水平對臥式引擎就像是把 V 型引擎的角度變為 180 度的擺放方法，但結構和運轉方式有些不同。由於汽缸是水平放置的，因此其他的零件也都是水平配置，形成重心低的特色。且活塞運動是左右水平方向，也減少了震動的幅度，使得運行時的穩定度大大提升。水平方向的校準就成為引擎運作的關鍵，於是安裝的過程必須時時刻刻測量是否保持水平，因而造成製造成本和時間的增加。

首先，先從零件數目了解 3 種引擎的複雜程度，一律以六缸的規格來比較。以市面上普遍的直列式引擎來說，引擎上下半部會用到的大小零件數總共大約有 124 個，其中最大宗以活塞占 48 個、閥門占 30 個；若是 V 型引擎，以六缸引擎計算，一般會在 195 個上下，畢竟因為汽缸被區分為左右兩邊，無論凸輪軸、凸輪軸齒輪、鍊條、進排氣歧管等都會隨之增加；而水平



水平對臥式引擎示意圖

對臥引擎以六缸來計算，汽缸也是分為兩邊，但因為汽缸本體內尚有曲軸箱這類構件的新增，零件比 V 型引擎再多一些，大約在 220 個零件左右。

因此直列式引擎零件數目最少、結構最單純，V 型引擎零件數目則是多出直列式引擎不少，結構也複雜很多，而水平對臥引擎還比 V 型引擎再複雜一點。

這樣的複雜程度隨之而來的會對應在安裝與檢測上。以直列式引擎來說，有 10 個安裝流程；接著 V 型引擎，把活塞、汽缸頭等分為左右兩邊，因而總體的安裝增加到 18 個流程，與水平對臥引擎共有 20 個安裝流程相比，差距在於左右兩邊曲軸箱的安裝有所不同。

曾逸敦

中山大學機械與機電工程學系