

## 第2章 汽油引擎本體系統

### 第1節 熱機概述

#### 2.1.1 熱機(Heat Engine)定義

熱機的定義為：凡利用物質所含的化學能，經燃燒的過程中而釋放出熱能，再將此熱能轉變成可利用的機械能的機器。一般可分為外燃機與內燃機。

#### 2-1-2 內燃機、外燃機的定義與分類

##### 一、內燃機(Internal Combustion Engine)定義

燃料在熱機內部燃燒，而將其燃燒所爆發的力量直接轉變為機械能的機器，稱之為內燃機，現可再分為往復式(reciprocating)及迴轉式(rotary)兩種，如汽油引擎、柴油引擎等皆屬往復式活塞式內燃機的一種，另目前使用於汽車上的萬克爾(Wankel)引擎，則屬迴轉式內燃機，如圖 2-1。

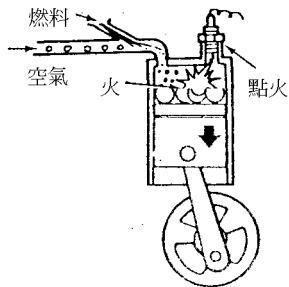


圖 2-1 內燃機

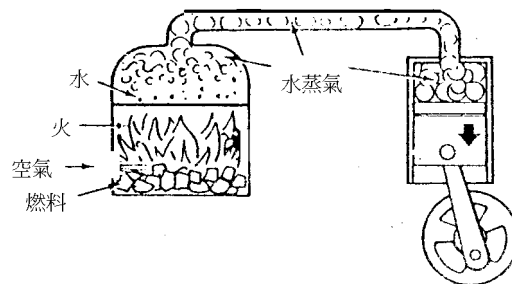


圖 2-2 外燃機

##### 二、外燃機(External Combustion Engine)定義

凡燃料在熱機外部燃燒，而將其水變為蒸氣後，再將蒸汽導入熱機內，或加熱工作氣體進而利用工作氣體(如氬氣)的熱脹冷縮，以推動熱機而產生機械能的機器，稱之為外燃機，如蒸汽機引擎(Steam Engine)、氣體交換活塞式引擎(史特靈引擎)等皆屬外燃機的一種，如圖 2-2。

##### 三、內燃機與外燃機的分類



## 2-1-3 往復式活塞引擎的分類與工作原理

### 一、往復式活塞引擎分類

主要以活塞往復運動的引擎來分類，分類如下：(於後再詳述之)

往復式活塞引擎分類項目	種類
1. 使用燃料分	(1)汽油引擎 (2)柴油引擎 (3)其他燃料引擎
2. 工作循環分	(1)二行程引擎 (2)四行程引擎
3. 熱力循環分	(1)奧圖循環引擎 (2)狄塞爾循環引擎 (3)混合循環引擎
4. 汽缸數目分	(1)單缸引擎 (2)多缸引擎
5. 汽缸排列分	(1)直列式引擎 (2)水平相對式引擎 (3)相對活塞式引擎 (4)V式引擎 (3)輻射式引擎
6. 汽門位置分	(1)頂上汽門式引擎 (2)單側汽門式引擎 (3)頂側汽門式引擎 (4)雙側汽門式引擎 (3)多汽門式引擎
7. 點火方式分	(1)火花點火式引擎 (2)壓縮點火式引擎
8. 冷卻方式分	(1)氣冷式引擎 (2)水冷式引擎

## 2-1-4 往復式活塞引擎工作原理

### 一、引擎循環：

引擎必須有一定工作程序且重覆連續不斷的工作，而將燃料所產生的能量轉變為機械動能過程，稱之為引擎循環。一般步驟為進氣、壓縮、動力、排氣完成一次動力，再連續不斷的工作，如圖 2-3。

引擎循環之四個基本步驟：

1. 進汽行程：利用吸力而使大氣壓力推入適當比例之燃料與空氣，混合於汽缸中。
2. 壓縮行程：將於汽缸中的混合汽給予壓縮。
3. 動力行程：在汽缸內之混合汽經過壓縮後點火，燃燒後氣體膨脹將活塞推動，而成為機械能。
4. 排汽行程：將燃燒後之廢氣自汽缸內排出。

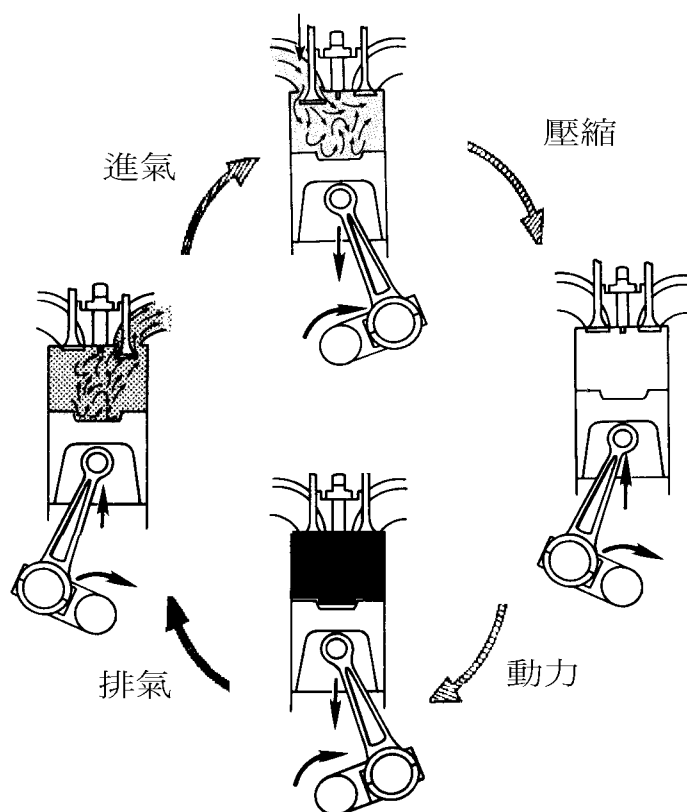


圖 2-3 引擎之循環

二、引擎工作須必備四要素，若缺一時，則無法正常工作，有如下：

1. 助燃物(空氣中的氧)。
2. 可燃物(燃料，如汽油、柴油、酒精、瓦斯等)。
3. 點火(可利用火花、壓縮熱等使燃料著火)。
4. 壓縮(使成密閉空間後，再燃燒產生膨脹壓力而推下活塞做功)。

### 三、往復活塞式引擎的基本構造

以使用汽油引擎為例，其主要的構造零件包括汽缸蓋、汽缸體、汽門、火星塞、活塞、連桿、曲軸、凸輪軸、飛輪等，如圖 2-4。

#### 1. 汽缸蓋(cylinder head)

汽缸蓋是蓋住汽缸的頂部，但汽缸的底部是開放的，當引擎運轉時，活塞可在汽缸蓋下方的汽缸內上下移動。

#### 2. 汽缸體(cylinder block)

為引擎重要的部份，用以支撐其他機件，內有挖空的圓筒汽缸，可承受活塞往復運動作用後的側壓力。

#### 3. 汽門(valve)

通常安裝於汽缸蓋上，可分為進汽門(intake valve)和排汽門(exhaust valve)，作用為配合工作循環適時的開啟或關閉，作進汽(混合汽)與排氣(廢氣)。

#### 4. 火星塞(spark plug)

使用汽油為燃料之引擎，需靠火星塞來適時幫助點燃而燃燒，以便燃燒後產生燃燒爆發的壓力，以推動活塞成為機械能。

#### 5. 活塞(piston)

在汽缸中可往復運動的一圓柱體，經工作循環機械的作用，以利上升壓縮混合汽，並燃燒後的壓力藉由活塞的推動而下滑，在上面裝有活塞環(piston ring)，可保持活塞與汽缸間的密封。

#### 6. 連桿(connecting rod)

連接活塞與曲軸間之桿，可將活塞的往復運動變為曲軸的旋轉運動。

#### 7. 曲軸(crankshaft)

與連桿相接，經傳遞後為旋轉運動。

#### 8. 凸輪軸(camshaft)

由曲軸旋轉後，透過正時齒輪的傳遞後旋轉，用以控制汽門的開閉及驅動其他機件，如分電盤、汽油泵、機油泵等。

#### 9. 飛輪(fly wheel)

與曲軸相接，同時旋轉，可藉其慣性作用儲存動力，使曲軸、活塞能平穩的運轉。

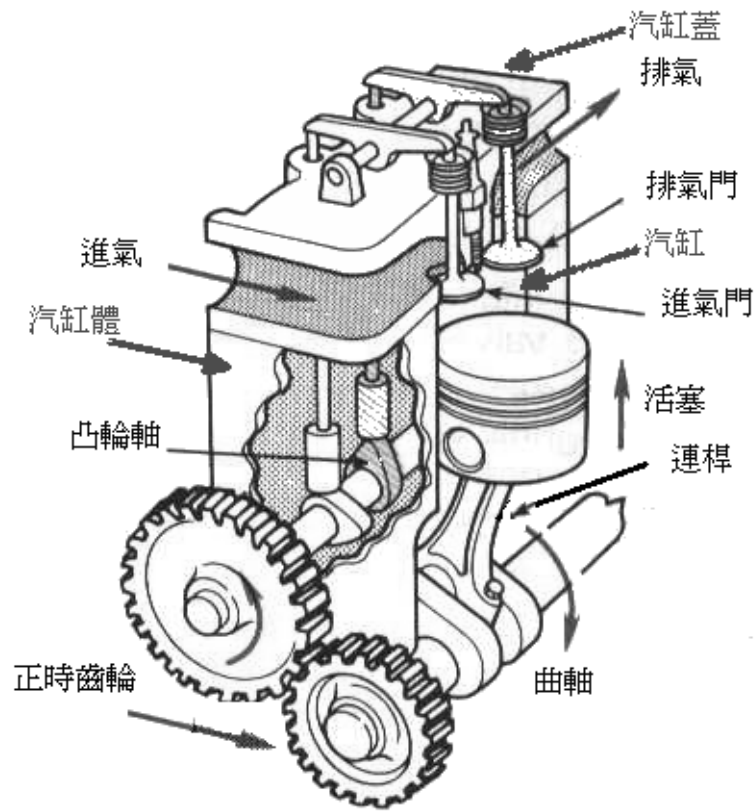


圖 2-4 引擎基本構造

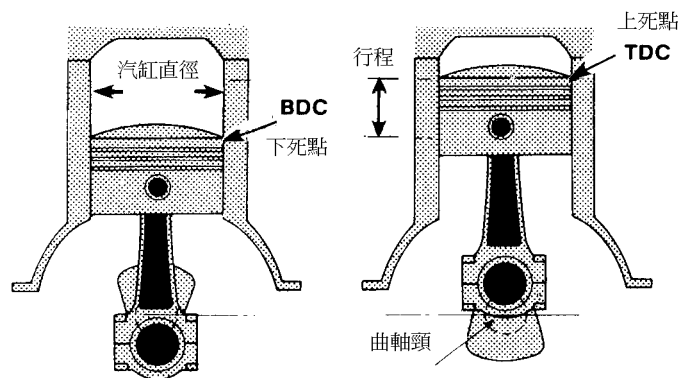


圖 2-5 活塞的運動關係

#### 四、活塞的運動與相關名詞，如圖 2-5

##### 1. 上死點(Top Dead Center, 簡寫 T. D. C)：

為活塞上行至最高之點，此時活塞之瞬間速度為零，慣性變化也最大，且此時在汽缸內的容積為最小，也為運動方向的改變點。

##### 2. 下死點(Bottom Dead Center, 簡寫 B. D. C)：

當活塞下行至最低之點，此時活塞之瞬間速度亦為零，慣性變化也最大，亦為運動方向的改變點，且此時在汽缸內的容積為最大。

### 3. 行程(Stroke)：

- (1)為活塞在上死點和下死點間之距離，即為活塞位移距離，又稱為衝程，故有分為四行程引擎(需四個行程完成一個循環)與二行程引擎(只需二個行程即可完成一個循環)，其距離等於2倍曲臂長或等於曲軸肖中心繞轉圓最大直徑，曲軸轉動角度 $180^\circ$ 。
- (2)當連桿中心線與曲軸臂中心線成直角時，活塞位移速度最大，亦即活塞移經上死點與下死點之中點速度最大。

### 4. 活塞位移容積(Piston Displacement Volume，簡寫P. D. V)：

上死點和下死點間之容積，其值等於汽缸面積(活塞面積)和行程之乘積，俗稱排氣量。引擎排氣量：即單缸排氣量乘以引擎之缸數。(P. D. V.  $\times$  n)。

### 5. 燃燒室容積(Combustion Chamber Volume，簡寫C. C. V)：

活塞在上死點時，活塞頂面上端之汽缸容積，又稱汽缸頂部空隙，餘隙容積，汽油引擎燃燒室容積大約為活塞位移容積的10~15%。

### 6. 汽缸容積(Total Cylinder Volume，簡寫T. C. V)：

活塞在下死點時，活塞頂面上端之汽缸總容積，等於活塞位移容積與燃燒室容積之和，(P. D. V + C. C. V = T. C. V)。

### 7. 壓縮比(Compression Ratio，簡寫C. R)：

為活塞位置使汽缸最大容積與最小燃燒室容積之比。

$$(1) C. R = (P. D. V + C. C. V) / C. C. V$$

$$(2) C. C. V = P. D. V / (C. R - 1)$$

(3)壓縮比無單位。汽油引擎壓縮比約6~11:1，柴油引擎15~23:1。

例一：某單缸引擎，其汽缸直徑為6公分、活塞行程3公分、壓縮比為8:1，則引擎之排氣量及燃燒室容積各為多少？

解：

由題意可知汽缸直徑6公分，活塞行程3公分，

則汽缸的圓面積為 $\pi \times 6^2 / 4 \text{ cm}^2$ ，

汽缸容積則為 $\pi \times 6^2 / 4 \times 3 = 84.78 \text{ cm}^3$ ，

因為單缸引擎，故排氣量為 $84.78 \times 1 = 84.78 \text{ cc}$ ，

$$\therefore C. C. V = P. D. V / (C. R - 1)$$

$$\therefore \text{燃燒室容積} = 84.78 / (8 - 1) = 12.11 \text{ cc}$$

例二：若一個汽缸容積為480cc，壓縮比為7:1的四缸引擎，求該引擎之排氣量及燃燒室之容積各為多少？

解：

汽缸容積則為480cc，故排氣量為 $480 \times 4 = 1920 \text{ cc}$ ，

$$\therefore C. C. V = P. D. V / (C. R - 1)$$

$$\therefore \text{燃燒室容積} = 480 / (7 - 1) = 90 \text{cc}$$

例三：若一引擎活塞位移容積為 $100 \text{吋}^3$ ，燃燒室容積為 $10 \text{吋}^3$ ，求該引擎的壓縮比為若干？

解：

活塞位移容積為 $100 \text{吋}^3$ ，燃燒室容積為 $10 \text{吋}^3$ ，

$$\therefore \text{C. R.} = (\text{P. D. V} + \text{C. C. V}) / \text{C. C. V}$$

$$\therefore \text{壓縮比} = 100 + 10 / 10 = 11$$

8. R. P. M (revolution per minute) :

為曲軸每分鐘的迴轉數，當曲軸旋轉一圈時，則表示活塞上、下一次的動作。

9. 真空 (vacuum) :

壓力小於大氣壓力時為負壓 (negative)，一般稱為真空，真空大時則表示為負壓值大，小於大氣壓力值多的意思，反之，真空小是表示小於大氣壓力值少的意思，當活塞下行時汽缸內部空間變大則會產生真空作用。

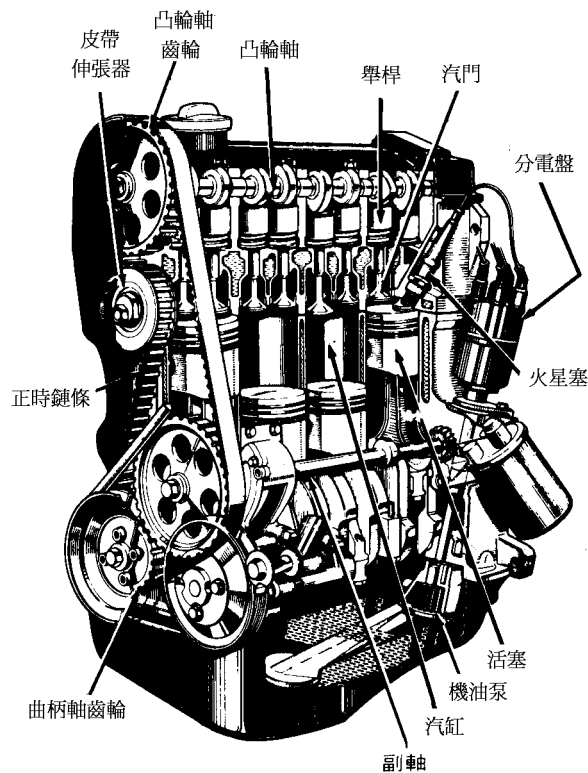


圖 2-6 直列式四缸四行程汽油引擎(克萊斯勒公司)

五、四行程汽油引擎的工作原理：

活塞在汽缸中移動四個行程，活塞上、下各二次，使曲軸轉 $720^\circ$ ，並四個行程依照工作的先後次序，分別為進汽、壓縮、動力、排汽等四個

行程，才完成一次工作循環的引擎稱為四行程引擎，如圖 2-6。

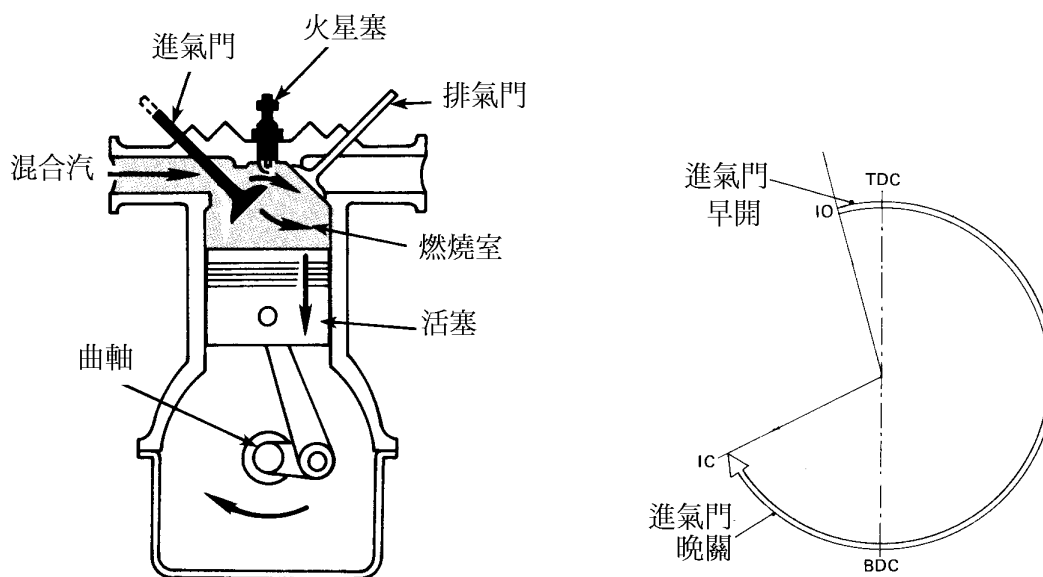


圖 2-7 進汽行程

### 1. 進汽行程(INTAKE stroke)：

#### (1)作用：

- 活塞自上死點向下行至下死點，進汽門開，排汽門關，汽缸內產生部分真空將汽油和空氣的混合汽藉由大氣壓力的推力進入汽缸內，而節氣門為控制進氣通道大小的開關。
- 實際上進汽門在上死點前約 $5^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 時已打開。而在下死點後約 $36^{\circ}\sim 92^{\circ}$ 才完全關閉，此種現象稱為進汽門的早開晚關或汽門正時(valve timing)，如圖 2-7。
- 故實際進汽行程 = 進汽門早開度數 + 行程( $180^{\circ}$ ) + 進汽門晚關度數。
- 進汽門早開晚關的原因
  - 汽門的開放及關閉動作，需要相當的時間才能完成。
  - 早開時可利用進入汽缸中的新鮮混合汽，將殘留在燃燒室中的廢汽清掃乾淨；晚關的目的是在高速時，雖進汽行程終了而活塞開始上行初期，汽缸內的壓力仍較大氣壓力低，混合汽仍可進入汽缸中。
- 進汽門早開晚關的不當時造成的影響
  - 進汽門開得太早，易使化油器回火。
  - 進汽門開得太晚，或關得太早，引擎動力和容積效率(進氣量多寡)均會減小。
  - 進汽門關得太晚，混合汽會倒流回進汽端，容積效率變差，也將影響引擎性能，並浪費汽油。



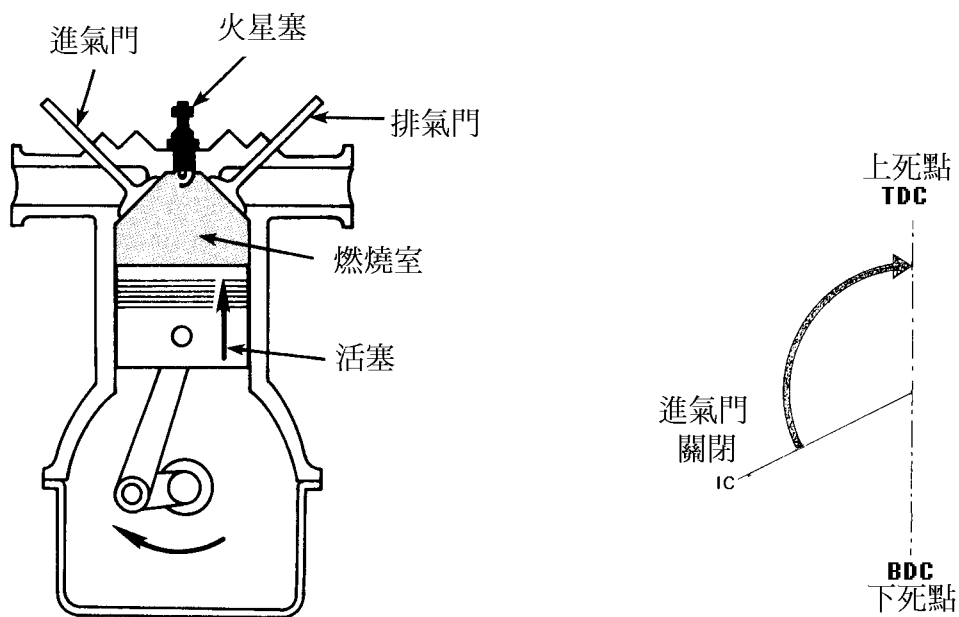


圖 2-8 壓縮行程

## 2. 壓縮行程(compression stroke)：

### (1)作用：

- a. 進汽門和排汽門均關閉，活塞由下死點上行至上死點，將汽缸中的混合汽壓縮，如圖 2-8。
- b. 實際壓縮是自進汽門關閉開始至壓縮上死點為止，故實際壓縮行程=行程(180°)-進汽門晚關度數。

### (2)目的：

可使混合汽混合得更均勻，溫度提高，燃燒容易，可獲得較大的動力。

### (3)壓縮狀況與壓縮壓力的關係

在壓縮行程時，汽缸內可產生的最大壓力，稱為壓縮壓力，一般四行程汽油引擎壓縮壓力約為  $8.5\sim 11.5\text{kg/cm}^2$  ( $120\sim 160\text{lb/in}^2$ )。

進入汽缸中的混合汽量愈多，壓縮壓力也愈大。

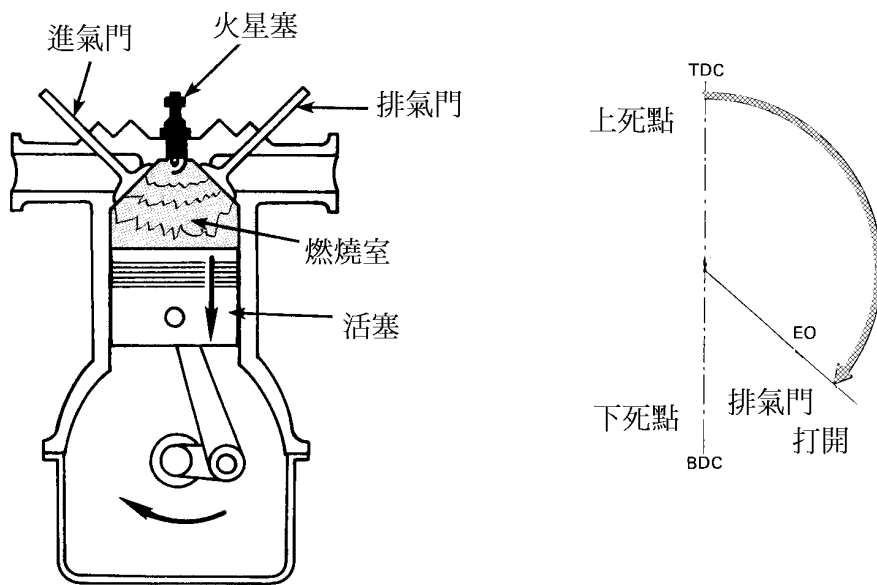


圖 2-9 動力行程

### 3. 動力行程(power stroke)

#### (1)作用：

- a. 在壓縮末期後，混合汽被火星塞點火燃燒產生爆發壓力而急速增大，此時進汽門和排汽門皆都關閉，故只能將活塞從上死點推至下死點產生動力，而造成曲軸有動力的旋轉，如圖 2-9。
- b. 排汽門因須早開，故實際的動力形態，在排汽門開始開啟時，即已終止，故實際的動力行程=行程(180°)-排汽門早開度數。
- c. 動力行程時汽缸中的最大壓力，稱為燃燒壓力。汽油引擎約 40~60kg/cm<sup>2</sup>(600~900lb/in<sup>2</sup>)，柴油引擎約 65~90kg/cm<sup>2</sup> (1000~1300lb/in<sup>2</sup>)。
- d. 燃燒時汽缸的最高溫度可達 2480°C (4500°F)左右。

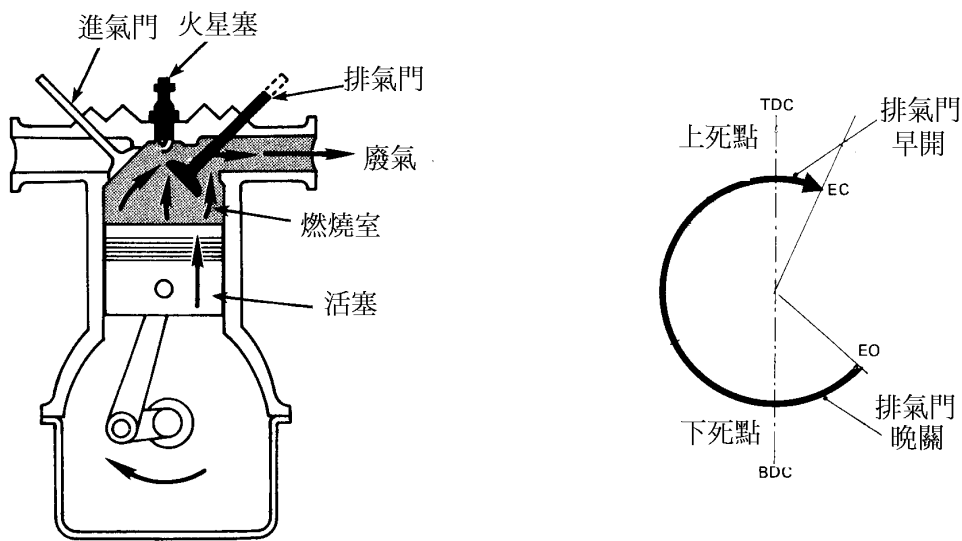


圖 2-10 排汽行程

#### 4. 排氣行程(exhaust stroke)：

##### (1)作用：

##### a. 廢氣的排出可分為四階段：

廢汽自動排出(排氣門開活塞下行至下死點時)→活塞壓出廢汽(活塞上行至進汽門打開為止)→活塞壓出及新鮮混合汽共同推出廢汽(活塞上行至上死點)→由新鮮混合汽推出廢汽→(活塞下行至排汽門關閉為止)，如圖 2-10。

b. 故實際上排汽門在動力行程內活塞至下死點前約  $37^{\circ} \sim 70^{\circ}$  時開始即已開放，且在活塞上行至上死點後約  $5^{\circ} \sim 42^{\circ}$  才完全關閉，此種現象稱為排汽門的早開晚關。

c. 故實際排汽行程 = 排汽門早開度數 + 行程( $180^{\circ}$ ) + 排汽門晚關度數。

##### d. 排汽門必須早開晚關的原因：

(A) 汽門的關閉和開放動作需要相當的時間才能完成。

(B) 排汽門早開直接代表可用熱能的損失，但如排汽門開放太晚，則在排汽行程初，作用在活塞上行的反壓力增大(燃燒後的膨脹壓力)，所消耗的動力可能更大。

(C) 排汽門晚關是為了配合進氣門早開而設，可利用進入的新鮮混合汽來掃除燃燒的廢氣，使進氣更充分。

##### e. 排汽門早開晚關不當造成的影響

(A) 排汽門太早開，動力的損失大，易耗油，且燃燒不完全而排出，容易在排氣管再燃燒產生放炮的現象。

(B) 排汽門太晚打開或太早關閉，則廢汽排不乾淨，引擎的容積效率降低，動力減小。

(C) 排汽門關閉太晚時，則新鮮混合汽隨廢汽流失太多，引擎耗油率增

大，並可能引起排氣管放炮現象。

f. 排氣溫度愈高時，表熱能損失大，而無法轉換為機械能，熱效率會變低。排氣溫度在全負荷時，汽油引擎約  $700\sim 1000^{\circ}\text{C}$ ，柴油引擎約  $500^{\circ}\text{C}$ 。

### 5. 汽門正時(Valve Timing)：

- (1) 汽門的開啟與關閉時間配合曲軸轉角稱為汽門正時，如圖 2-11，汽門開啟由凸輪軸控制、關閉則由汽門彈簧控制，即曲軸→正時齒輪→凸輪軸→舉桿→推桿→搖臂→汽門(於本體構造中再詳述之)。
- (2) 通常連接曲軸的尾端裝有皮帶盤(曲軸盤)，上有正時刻度記號，其代表第一缸或與第一缸活塞同位置相對缸的記號，可藉由此記號推算各缸工作與曲軸轉角位置，如圖 2-12。

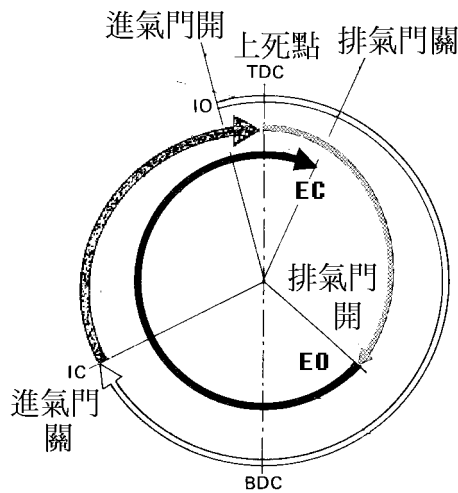


圖 2-11 四行程引擎正時圖

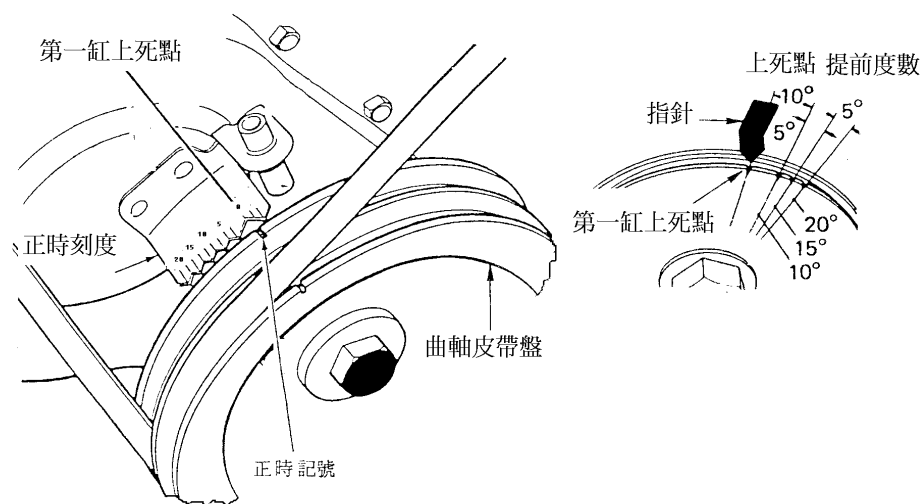


圖 2-12 曲軸盤上正時記號

### 6. 洛克位置：

- (1) 活塞肖與連桿，連桿與曲軸、齒輪間等相對運動機件，均有間隙，活塞在上下死點時，曲軸約可旋轉  $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$  而活塞無顯著位移運動，此自由間隙位置，稱為洛克位置。
- (2) 洛克位置，為點火正時與汽門正時的重要依據之一，若齒輪間隙愈大時，則洛克位置的角度也愈大。

7. 汽門重疊(Power Overlap)：

- (1) 為使進汽充分，排汽乾淨，增加容積效率，當活塞在上死點附近，進汽門與排氣門有一段時間同時開啟，稱為汽門重疊，如圖 2-13、2-14。
- 則汽門開啟重疊時期：進汽門早開的度數 + 排汽門晚關之度數。

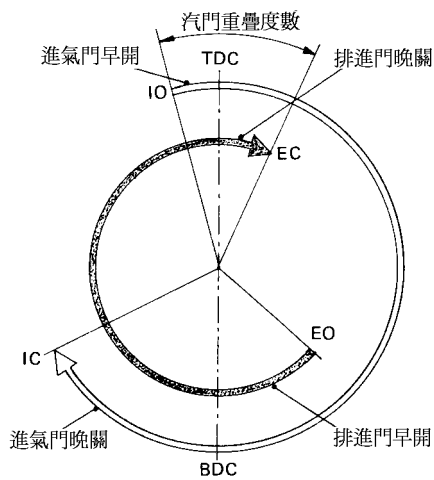
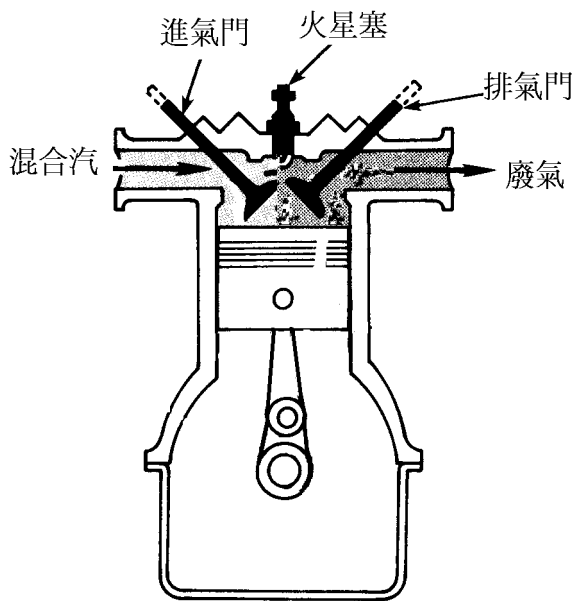


圖 2-13 汽門重疊時作用

圖 2-14 引擎汽門重疊正時圖

- (2) 若以進汽門早開  $5^{\circ}$ ，晚關  $44^{\circ}$ ，排汽門早開  $48^{\circ}$ ，晚關  $12^{\circ}$  為例，則：

進汽行程： $5^{\circ} + 180^{\circ} + 44^{\circ} = 229^{\circ}$

壓縮行程： $180^{\circ} - 44^{\circ} = 136^{\circ}$

動力行程： $180^{\circ} - 48^{\circ} = 132^{\circ}$

排汽行程： $48^{\circ} + 180^{\circ} + 12^{\circ} = 240^{\circ}$

汽門開啟重疊時期：進汽門早開的度數 $5^{\circ}$  + 排汽門晚關之度數 $12^{\circ}$   
 $= 17^{\circ}$ 。

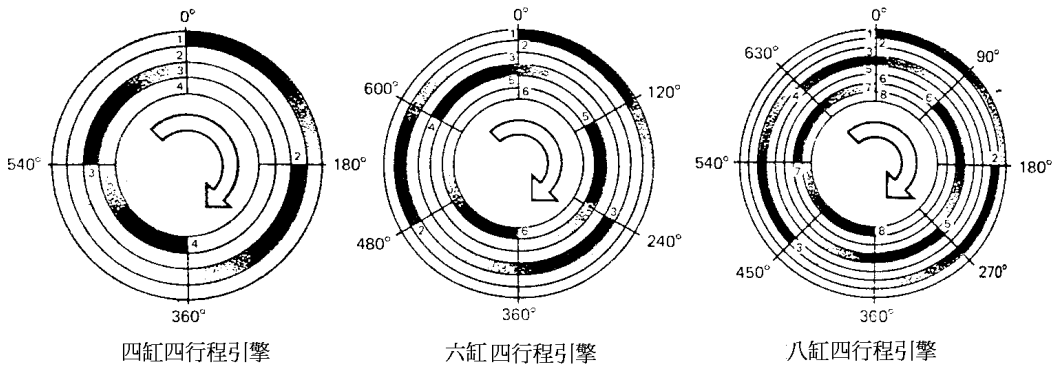


圖 2-15 動力重疊正時圖

### 8. 動力重疊：

(1) 四行程多缸引擎發動時，一缸之動力行程未完畢而另一缸之動力行程又已開始，而有動力行程重疊者稱為動力重疊，如圖 2-15。

當實際動力行程度數 = 行程度數  $180^{\circ}$  - 排汽門早開度數

每缸動力間隔度數 = 曲軸轉動  $720^{\circ}$  (各缸均爆發一次)  $\div$  該引擎的缸數

則動力重疊角度 = 實際動力行程度數 - 每缸動力間隔度數

故總動力重疊角度 = 動力重疊角度  $\times$  該引擎的缸數

總動力角度數 = 實際動力行程度數  $\times$  該引擎的缸數

(2) 若以排汽門早開 $48^{\circ}$ 為例，則若缸數不同時的

缸數	曲軸轉角度數	總動力度數	動力重疊	附註
1	$720^{\circ}$	$132^{\circ}$	$0^{\circ}$	無重疊
2	$720^{\circ}$	$264^{\circ}$	$0^{\circ}$	無重疊
3	$720^{\circ}$	$396^{\circ}$	$0^{\circ}$	無重疊
4	$720^{\circ}$	$528^{\circ}$	$0^{\circ}$	無重疊

缸數	曲軸轉角度數	總動力度數	動力重疊	附註
6	720°	792°	12°	缸數愈多，重疊角愈大，引擎動力愈平穩
8	720°	1056°	42°	

(3)以六缸動力重疊角度數計算方法為例，如下：

$$720^\circ \div 6 = 120^\circ \dots\dots\dots \text{每缸動力間隔角度}$$

$$180^\circ - 48^\circ = 132^\circ \dots\dots\dots \text{每缸實際動力角度}$$

$$132^\circ - 120^\circ = 12^\circ \dots\dots\dots \text{每缸動力重疊角度}$$

$$12^\circ \times 6 = 72^\circ \dots\dots\dots \text{全部動力重疊角度}$$

$$132^\circ \times 6 = 792^\circ \dots\dots\dots \text{全部動力角度}$$

(4)若動力重疊角度數愈多時，則引擎愈平穩，怠速可較低，使用的飛輪可較小。

#### 9. 點火順序(firing order)：

(1)為使引擎的震動減至較小，通常在多缸引擎設計上安排各汽缸的動力爆發順序，以使引擎運轉平穩，所以又稱為動力順序或爆發順序，又依順序而適時點火，又可稱為點火順序。

例如：四缸動力順序：1-3-4-2或1-2-4-3，如圖2-16

六缸動力順序：1-5-3-6-2-4 或1-4-2-6-3-3，如圖2-16

八缸動力順序：1-6-2-5-8-3-7-4 或 1-5-4-8-6-3-7-2

(2)大部份汽車引擎，均採用標準旋轉方向(standard rotation)，表示從引擎的曲軸盤前端看，曲軸是順時鐘方向旋轉。

(3)引擎汽缸的編號，大多數是依連桿沿曲軸之連接次序，通常第一缸代表離曲軸輸出端最遠(即飛輪)的一個汽缸。

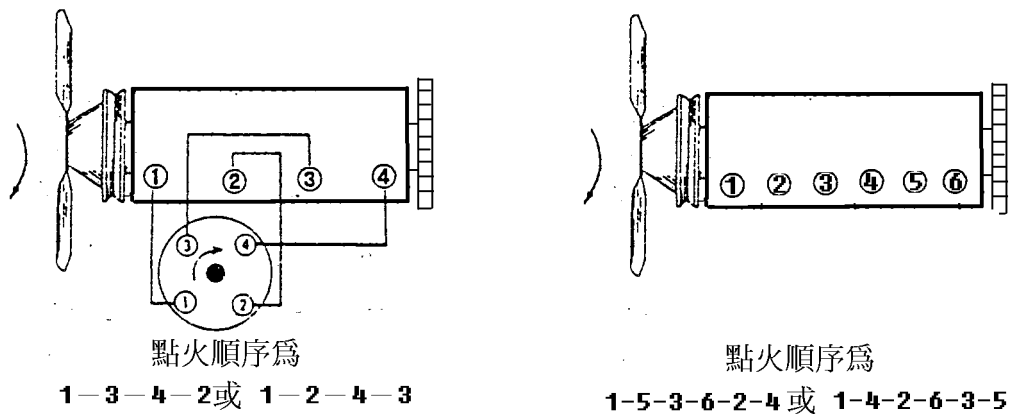


圖2-16 引擎之點火順序

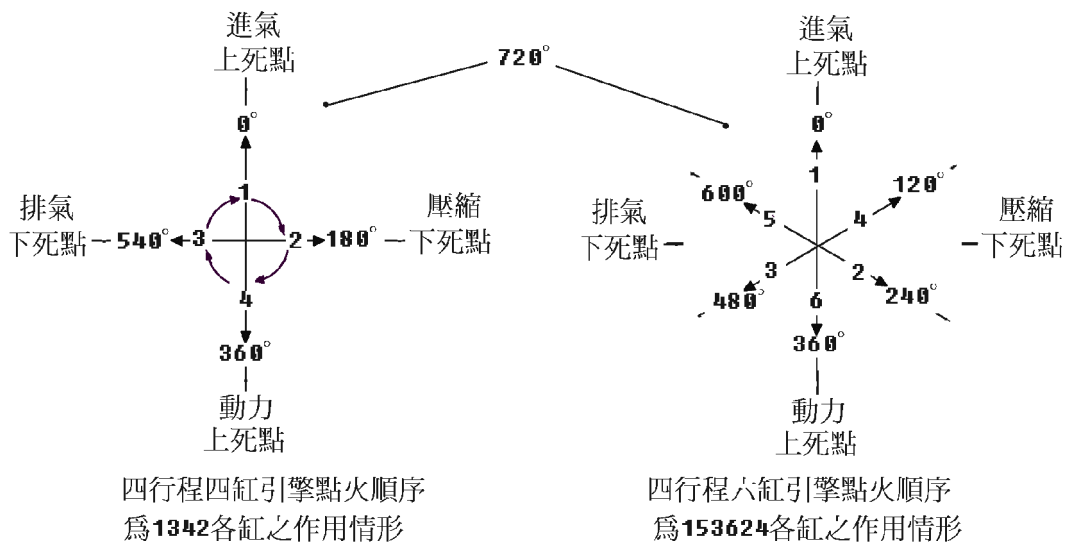


圖2-17 四行程引擎各缸之工作情形與曲軸轉角關係

(4) 四行程引擎各缸皆需在 $720^\circ$ 完成一次工作循環(進、壓、動、排)，故計算四行程多缸引擎各缸工作情形與曲軸轉角關係時，可利用下列方法求出：

- 設一平面為曲軸轉二轉( $720^\circ$ )，各缸均可完成一次進汽、壓縮、動力、排氣，如圖2-17。
- 平面均分作四點，各點即相差 $180^\circ$ ，再依順時針填入進、壓、動、排及上、下死點。
- 若已知某一缸的工作位置，再以該缸位置反時針填入爆發順序，即可得知各缸的工作情形及與曲軸轉角關係(需注意動力間隔角度)。
- 此時若引擎曲軸順時針轉動若干角度時，則可順時針移動填寫爆發順序若干角度，而得知各缸轉動後的工作情況及與曲軸轉角關係。
- 也可根據求得各缸的位置來判斷汽門的狀態。



行程	活塞位置	汽門的開閉	可調整汽門腳間隙的汽門
進汽行程	上死點	進排汽門皆打開	不可調整
	下死點	進汽門打開，排汽門已關閉	排汽門
壓縮行程	下死點	進汽門打開，排汽門已關閉	排汽門
	上死點	進、排汽門皆關閉	進、排汽門
動力行程	上死點	進排汽門皆關閉	進、排汽門
	下死點	進汽門關閉，但排汽門打開	進汽門
排汽行程	下死點	進汽門關閉，但排汽門打開	進汽門
	上死點	進、排汽門皆打開	不可調整

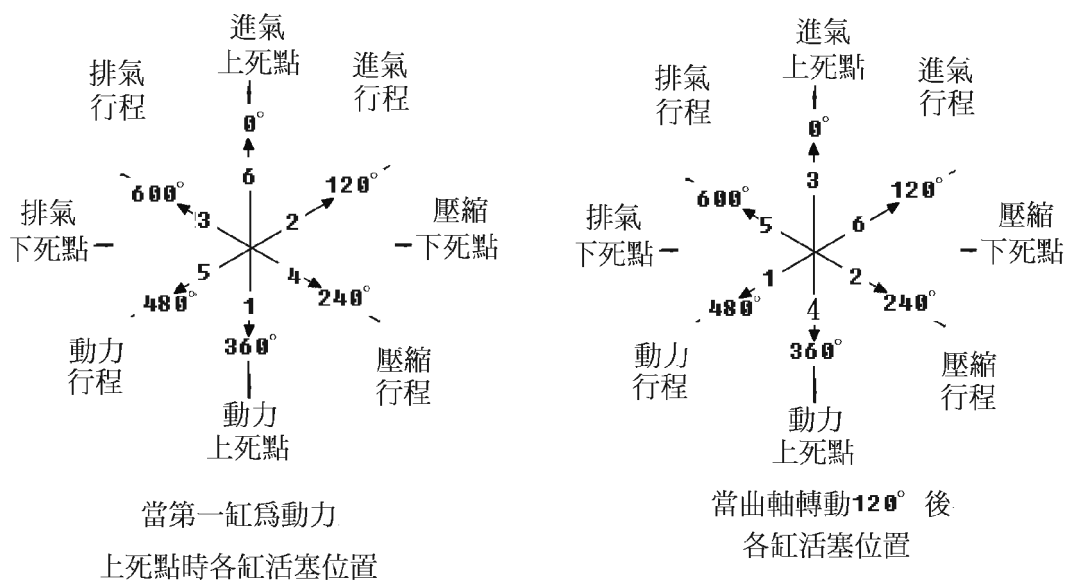
例：

若有六缸四行程之引擎其爆發順序為142635，當第一缸動力剛開始時此時若順時針轉動曲軸盤 $120^\circ$ ，則第三缸之活塞位置在何處何行程？

答：1. 第一缸動力剛開始時，則表示第一缸活塞位置在壓縮上死點(也可說為動力上死點)。

2. 依步驟填寫入平面內，再順時針移動各缸 $120^\circ$ 後可知各缸的位置。

3. 由圖可知第三缸活塞位置現在為進氣上死點。



#### 六、二行程汽油引擎工作原理

活塞移動二個行程，使曲軸旋轉一轉（ $360^\circ$ ）即完成進汽、壓縮、動力、排汽四種工作循環，產生一次動力的引擎，稱為二行程循環引擎，如圖 2-18。

因活塞只上下二次必須完成進汽、壓縮、動力、排汽四項工作，故沒有獨立的進汽及排汽行程，必須靠進入汽缸之新鮮的混合汽(fresh air)將廢汽排除，稱之為掃汽作用(scavenging)。

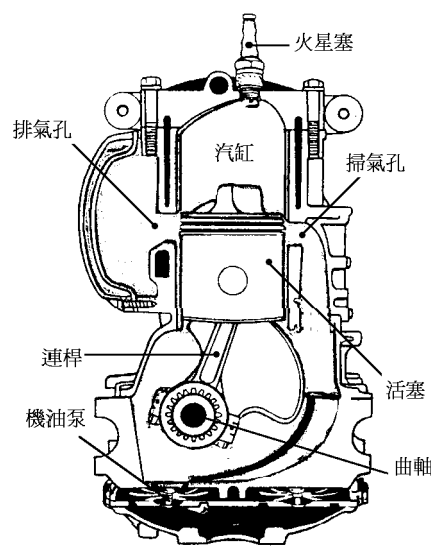


圖 2-18 二行程汽油引擎之切面圖

1. 二行程引擎之掃汽方法可分為：

(1)橫斷掃氣式(Cross scavenging)：

掃汽口在排汽口稍下方，分別在汽缸壁之相對，新鮮混合汽橫過汽缸將廢汽排出汽缸外。新鮮混合汽之流失較多及排氣污染大，掃汽效果較差；構造簡單，一般小型二行程汽油引擎使用，如圖 2-17。

(2)反轉掃氣式(loop scavenging)：

掃汽口與排汽口在汽缸內之同側或相差在  $90^\circ$  以內，排汽口仍高於掃氣口，當新鮮混合汽進入汽缸後，反轉將廢汽排出汽缸外，一般二行程汽油引擎使用，如圖 2-20。

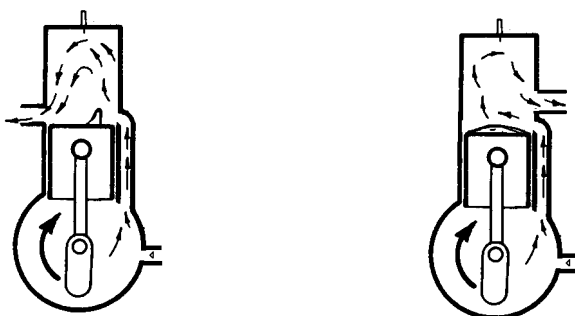


圖 2-19 橫斷掃汽方式      圖 2-20 反轉掃汽方式

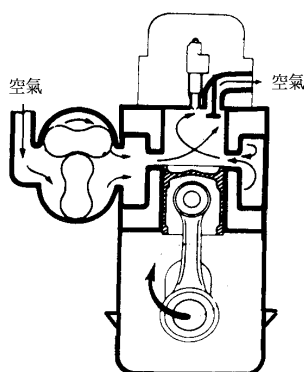


圖 2-21 二行程引擎之單流掃汽

(3)單流掃氣式(uni-flow scavenging)：

新鮮混合汽由汽缸之掃汽口  $45^\circ$  切線進入，產生迴旋渦流而向上排汽，排汽門裝置於汽缸蓋上，新鮮混合汽將廢汽以同一流動方向掃出，此式效率高，為目前二行程柴油引擎加裝鼓風機使用最多之掃汽方式，如圖 2-21。

2. 二行程汽油引擎的工作原理：如圖 2-22

(1)進汽：

a. 曲軸箱進汽：

活塞由下死點上行將掃汽口封閉時起，至活塞行至上死點時後，因活塞向上移動，曲軸箱容積增大，而產生真空吸力，單向進汽閥打開，如圖 2-23，使混合汽就進入曲軸箱中，為第一階段的進汽。

b. 汽缸進汽：

活塞由上死點下行，曲軸箱內漸無真空吸力，而使單向進汽閥關閉，曲軸箱容積也漸變小、其內的混合汽被活塞壓縮產生預壓作用，至活塞下行將掃汽口開啟時起，混合汽就自動由曲軸箱中經掃汽口進入汽缸中，直至活塞由下死點轉而上行時，再將掃汽口封閉為止，為第二階段的進汽。

(2) 壓縮：

自活塞由下死點上行先將掃汽口關閉，再將排汽口封閉後，至活塞行抵上死點時止，與進汽形態的第一階段大部分同時發生。

(3) 動力：

活塞在壓縮上死點末了，混合汽被火星塞點火燃燒後，產生燃燒壓力推下活塞，直至排汽口打開，即結束動力的傳遞。

(4) 排汽：

燃燒壓力推下活塞下行後，排汽口打開開始，直至活塞在上行將排汽口關閉為止。

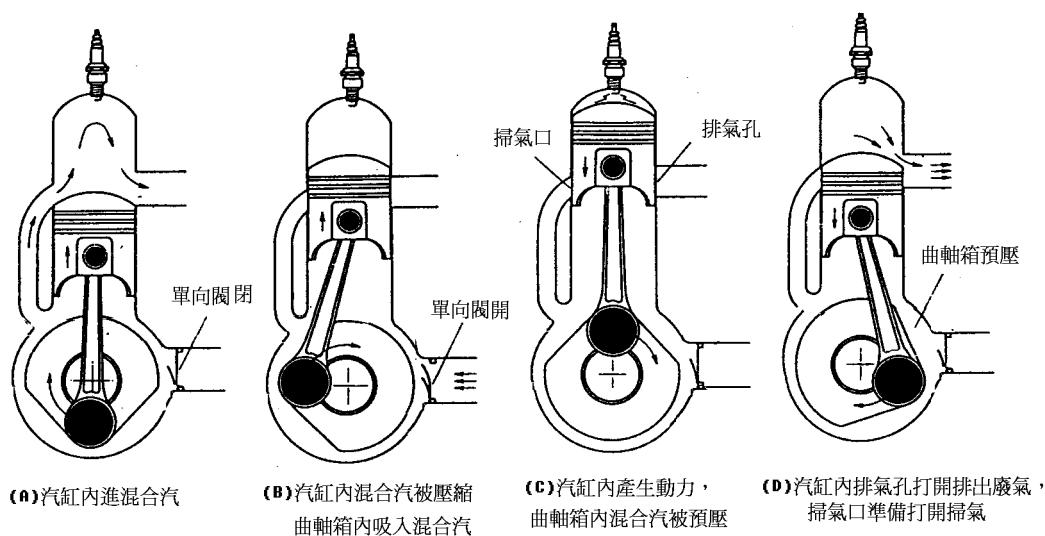


圖 2-22 二行程汽油引擎工作原理

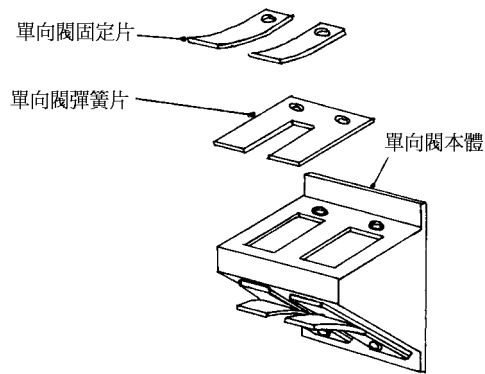


圖 2-23 進氣單向閥構造

3. 二行程汽油引擎與四行程汽油引擎比較：

項 目	二行程汽油引擎	四行程汽油引擎
1. 結構	構造簡單，價格便宜。	構造複雜，價格較高。
2. 體型	重量較輕，體積較小。	體積大，重量較重(單位馬力之重量大)。
3. 運轉平穩	動力次數多，引擎運轉平穩，約同排汽量四行程汽油引擎的 1.4 ~ 1.7 倍。	每四行程(曲軸二轉)才產生一次動力，動力不均，運轉不平穩，須有多缸才可以。
4. 耗油情況	耗油率大。	較省油。
5. 進汽狀況及容積效率	進汽不充分，廢汽排不乾淨，因而容積效率較低。	進汽充分，廢汽排放較乾淨，容積效率高。
6. 潤滑狀況	潤滑困難，曲軸箱潤滑係靠燃料中混入機油來完成。	滑潤作用良好，曲軸箱潤滑可由機油直接來完成。
7. 平均有效壓力	較低，因燃料須混入機油，使辛烷值降低，故引擎之壓縮比不能提高。	較高。

8. 最高轉速	較低，因容積效率較低，故也對負荷運轉之耐久性小。	各行程作用完全、確實，由低速至高速之速度變化範圍較大。
9. 汽缸狀況	因進排汽口溫度不均，易使汽缸變形，且大汽缸口徑製造困難，故無法用於大馬力引擎。	汽缸無進排汽口，不易變形，且製造較容易。
10. 起動難易	起動較困難，因燃料中加入機油使汽油點燃較為困難。	起動較容易。
11. 排汽	排汽聲音大，未燃燒氣體較多，污染大。	排汽聲較小，燃燒較完全，污染較小。
12. 使用狀況	適合小型小馬力車輛	適合一般小型大馬力車輛。

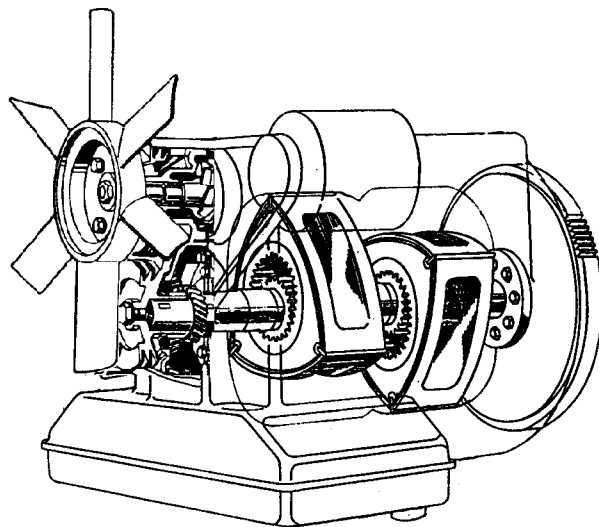


圖2-24 二缸迴轉式引擎

#### 2-1-5 其他型式的引擎分類與工作原理

##### 一、迴轉活塞式引擎(wankel engine)

1. 此種引擎是德國工程師萬克爾 (felix Wankel) 於一九五七年完成了第一部單旋式(SIM)迴轉引擎 (該引擎機座及轉子均在轉動，排氣量125立方公分，可產生28.6匹馬力)，故又稱為萬克爾引擎，亦不屬往復式引擎，如圖2-24。

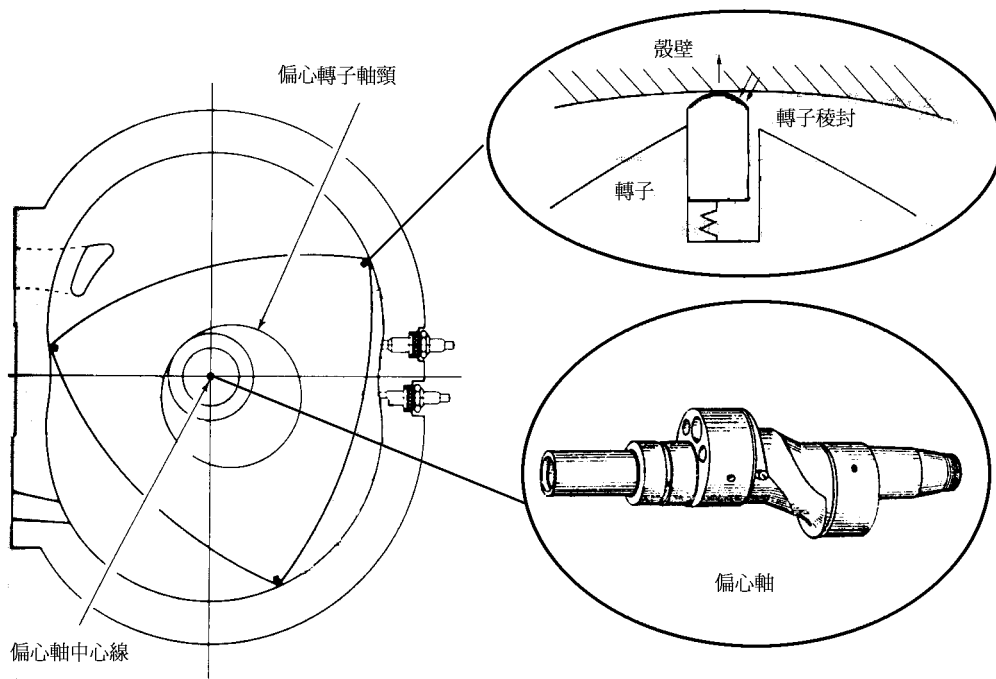


圖2-25 迴轉式引擎構造

## 2. 基本構造：如圖2-25

- (1) 與往復式引擎之汽缸體相當的轉子殼室，轉殼上有冷卻水流通，及裝火星塞孔與排汽口、進汽口。
- (2) 與往復活塞式引擎之活塞相當的轉子為三角形，與活塞環相當之密封裝置有稜封及邊封。
- (3) 與往復式引擎之曲軸相當的為轉子中央有偏心軸，使轉子與偏心軸的齒數比為3：2，而轉速比成為1：3，故當轉子轉一圈，則偏心軸就轉三圈；偏心軸的偏心距，即轉子上的固定齒輪中心點與偏心軸上的齒輪中心的距離，同往復式引擎的曲軸臂長。
- (4) 在轉子室內有二只火星塞，分別由兩組獨立的點火系統提供高壓電，一只約如同往復式引擎上死點點火，另一只約如同在上死點後5度點火。
- (5) 其他附屬裝置與往復式汽油引擎相同，有燃料裝置、潤滑裝置、冷卻裝置、點火裝置、起動裝置等。

## 3. 工作原理：

- (1) 曲面三角形的迴轉活塞沿汽缸壁滾轉一周，每個活塞面產生一次的進汽、壓縮、動力、排汽，故共一轉產生三次動力，如圖2-26。
- (2) 進、排汽口的開閉，由迴轉活塞旋轉時控制，且利用旋轉時空間變大後吸入混合汽，旋轉時壓縮空間排出燃燒後的廢氣。
- (3) 在壓縮後空間變小時，引導火星塞先行點火燃燒，而後約上死點後5度

的火星塞再點火燃燒，而產生燃燒後的膨脹壓力，推轉活塞。

- (4) 迴轉活塞式引擎，不論在任何位置，都有一面的活塞面在動力的狀態，而推轉活塞進汽、壓縮、動力、排汽，故此動力源持續不斷而無動力慣性上的損失。
- (5) 迴轉活塞轉一圈時產生三次動力，偏心軸也承受三次的動力，產生三轉的動力。
- (6) 當轉子轉一圈時就和六個汽缸之往復式四行程循環引擎曲軸轉一轉時的動力次數作用相同(皆三次動力數)，因此也比同排汽量同馬力往復式引擎體積較小。

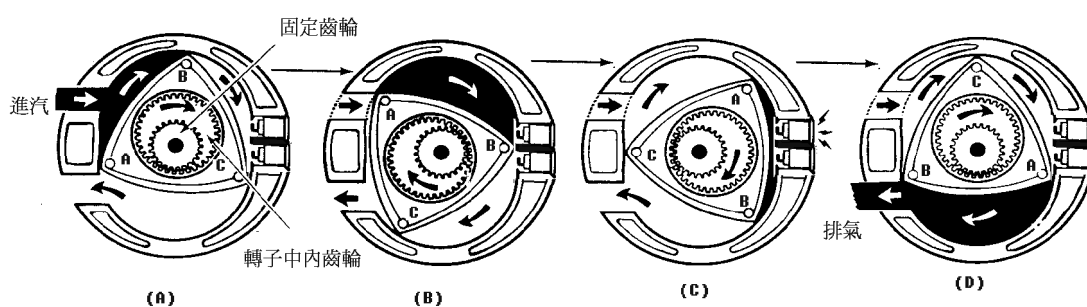


圖2-26 迴轉式引擎作用情形

4. 迴轉活塞式引擎與四行程往復引擎一般性能比較如下表：

比較項目	迴轉引擎	往復引擎
1. 機件的慣性動力損失	損失小	損失大
2. 引擎的震動及速率限制	平衡佳、速率較不受限制	平衡較差、速率受限制
3. 構造及保養	簡單，無汽門機構	較複雜
4. 壓縮比	8~12	7~9
5. 壓縮壓力kg/cm <sup>2</sup>	9.8~10.5	7.5~8.5
6. 單位排汽量功率PS/CC	大，0.11~0.13	小，0.04~0.05



7. 單位排汽量重量g/cc	輕，78.15~94.82	重，496~705
8. 單位功率重量kg/PS	輕，0.68~1.13	重，13.5~20.5
9. 最經濟熱效率%	高，34~40	低，20~25
10. 燃燒室的局部高熱點	無，故可使用辛烷值較低汽油燃燒，仍不爆震。	較多，故汽油辛烷值高低受限，易爆震。
11. 加速性能	動力連貫，較佳	往復慣性阻力大，較差
12. 馬力加大	容易	不容易
13. 耗油率	較高	較低
14. 燃燒狀況	燃燒時間短，燃燒較不完全，污染大。	燃燒時間長，燃燒較完全，污染小。

## 二、燃氣渦輪引擎(Gas Turbine engine)：

### 1. 基本構造

(1) 生氣部份包含壓氣機、燃燒器、點火器、噴油器及生氣渦輪、點火器僅在起動時點火而將混合汽點燃，發動後即不再點火，燃燒器上有燃料噴嘴均保持連續噴油，而生氣渦輪作為帶動壓氣機以壓氣空氣與燃料混合燃燒，如圖2-27。

(2) 動力部份包含動力渦輪，產生旋轉動力，將動力傳輸至離合器、變速箱等等。

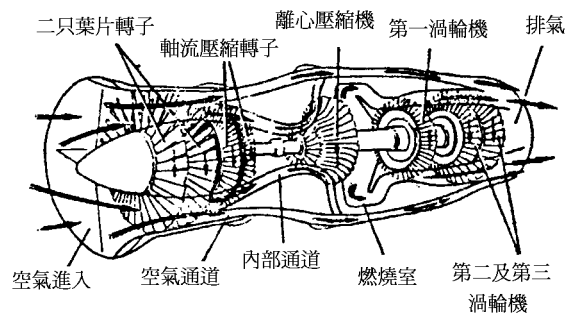


圖2-27 飛機用燃氣渦輪式引擎

2. 作用原理：如圖2-28

- (1) 起動時，將燃料噴入已壓縮的空氣中，由點火器點火燃燒後，產生高溫、高壓之燃氣(Cas)，此高壓之燃汽噴向渦輪之葉片，使渦輪迴轉。
- (2) 起動後，燃燒器上的燃料噴嘴持續噴油燃燒，點火器不再點火，渦輪持續迴轉，而迴轉速度可高達約30,000rpm，再經由控制將動力傳輸至離合器、變速箱等傳動系統作外輸出動力。

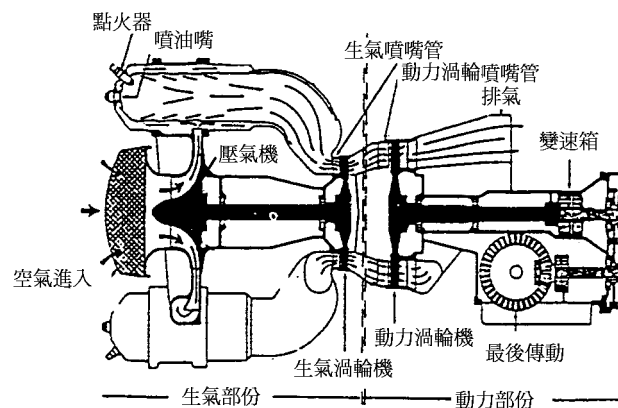


圖2-28 燃氣渦輪式引擎作用情形

### 三、絕熱引擎(adiabatic diesel engine)

1981年日本五十鈴(ISUZU)推出一部2,800c. c. 引擎，其改良引擎磨擦部位(如汽缸套)等材料，因為陶瓷(ceramic)絕熱性佳，熱膨脹係數與鑄鐵相近，能使汽缸和活塞互相配合，摩擦係數極低，所以摩擦損失較小，故熱效率、機械效率和經濟性都大大提高，陶瓷材料大都以氧化鋯( $ZrO_2$ )為主要成份，大部份用於柴油引擎上，如圖2-29。

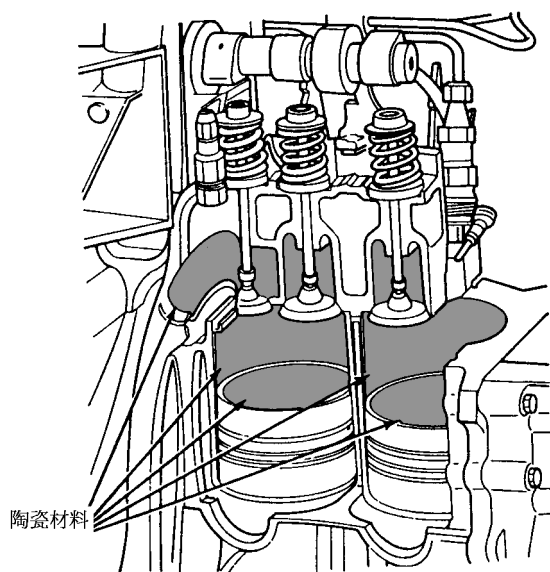


圖2-29 絕熱引擎(福特公司)

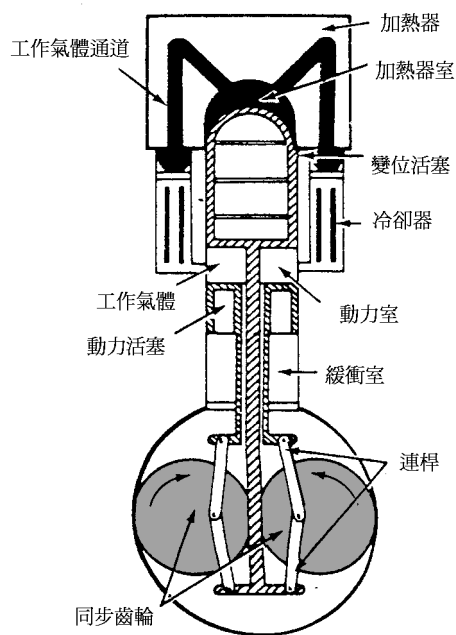


圖2-30 史特靈引擎

#### 四、史特靈引擎(Stirling engine)

為一種外燃機，利用氣體的熱脹冷縮原理，產生氣體的交換在往復活塞引擎中作功，通常使用定量的工作氣體氦氣(He)密封於密閉空間中，先加熱使其膨脹而具有工作能量而作功，之後再使氣體冷卻收縮，再反覆循環加熱，使引擎持續運轉，又稱為氣體交換式往復活塞引擎，如圖2-30。

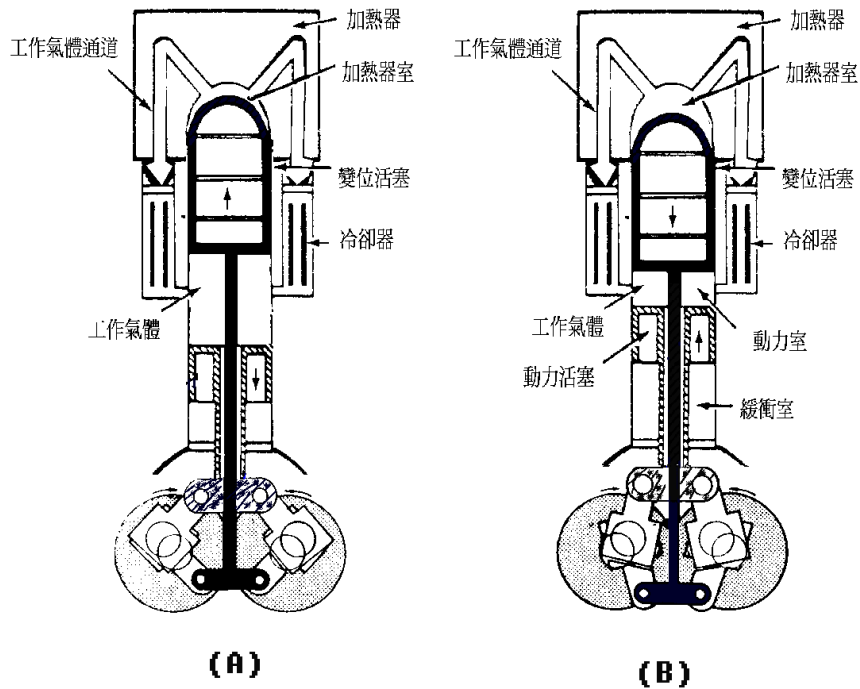
##### 1. 基本構造：

由變位活塞(位移活塞)、動力活塞、加熱器、復熱器、冷卻器、齒輪

組、工作氣體氦氣所組成。

(1)作用原理：如圖2-31

- a. 變位活塞位於最高點，動力活塞位於最低點，所有工作氣體均在冷卻室中冷卻。
- b. 當動力活塞上行，變位活塞下行而將冷卻後的工作氣體，壓入變位活塞上方的加熱室中加熱。
- c. 加熱器加熱工作氣體，而使加熱室中的工作氣體氦氣膨脹，產生膨脹力量，一起將變位活塞及動力活塞推下成為動力源。
- d. 動力持續運轉，變位活塞上壓，動力活塞位置不變，而將膨脹氣體壓縮進入冷卻室中再冷卻，再重覆這四個動作，循環不斷。



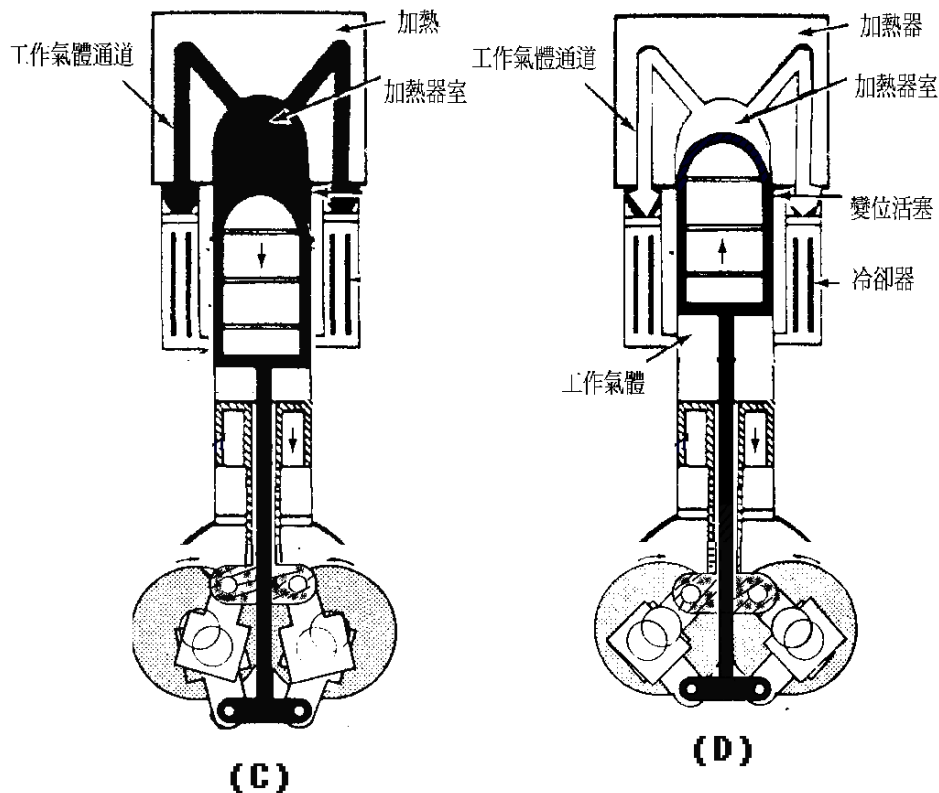


圖2-31 史特靈引擎作用原理

習題 2-1

1. 內燃機的定義為何，且舉例何種引擎為是？
2. 簡述往復式活塞引擎的工作原理？
3. 四行程汽油引擎的進汽門為何要早開晚關？
4. 何為汽門重疊，若有一引擎進汽門早開 $7^\circ$ ，排汽門晚關 $13^\circ$ 時，則該引擎汽門重疊了幾度？
5. 一四行程汽油引擎，若進汽門早開 $7^\circ$ ，晚關 $42^\circ$ ，排汽門早開 $45^\circ$ ，晚關 $15^\circ$ ，則該引擎各行程所行走曲軸轉角各為幾度？
6. 若一六缸四行程引擎，若進汽門早開 $8^\circ$ ，晚關 $44^\circ$ ，排汽門早開 $44^\circ$ ，晚關 $13^\circ$ 時，則該引擎的動力重疊為幾度，又總動力重疊又為幾度？
7. 若有一個六缸四行程之引擎其爆發順序為153624，若第三缸為動力剛開始時，則第2缸是何位置，何行程？
8. 六缸四行程之引擎其爆發順序為142635，第五缸為動力剛開始時，此時若順時針轉動曲軸盤 $120^\circ$ ，則第四缸之活塞位置在何處何行程？
9. 簡述二行程引擎的工作原理？
10. 簡述迴轉式引擎的工作原理？
11. 簡述燃氣渦輪引擎的工作原理？
12. 簡述史特靈引擎的工作原理？