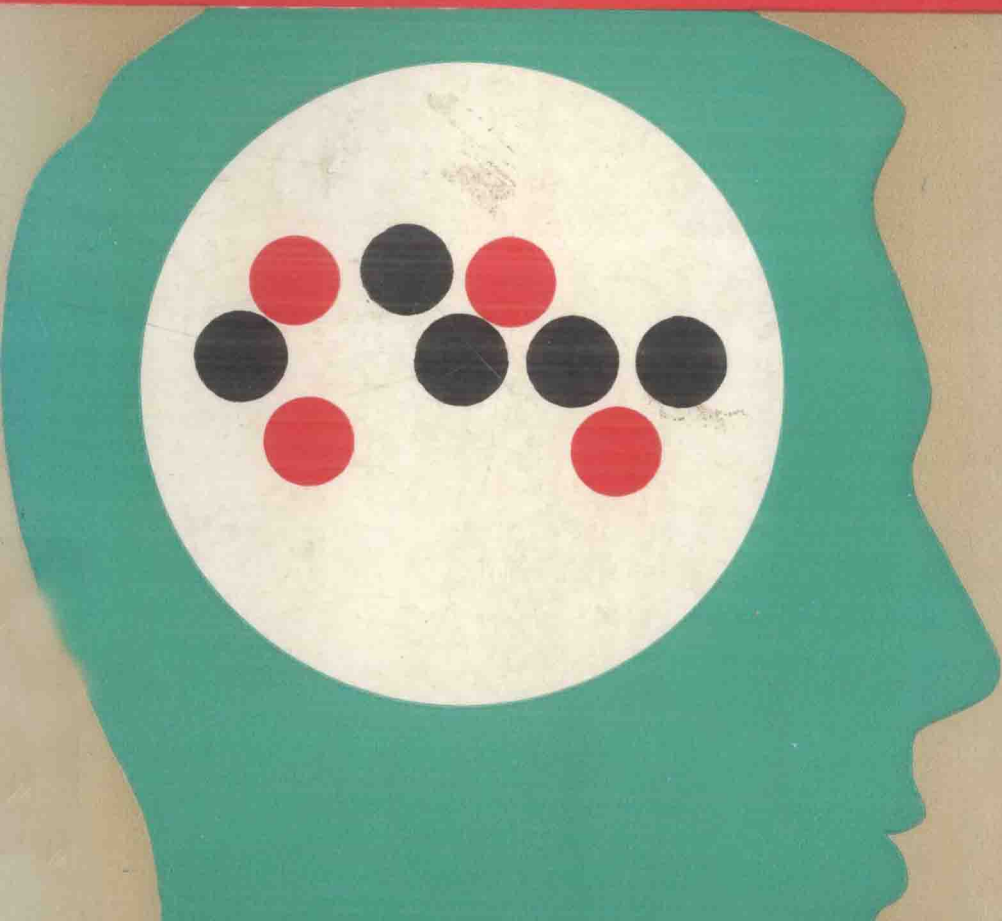


內 燃 機

王 仰 舒 著

科學技術叢書 / 三民書局印行



中華民國七十一年九月初版

內燃機

基本定價肆元

版權所有
翻印必究

著者 王 仰 舒
發行人 劉 振 強
出版者 三民書局股份有限公司
印刷所 三民書局股份有限公司

臺北市重慶南路一段六十一號
郵政劃撥九九九八號

行政院新聞局登記證 局版臺字第〇二〇號

內 燃 機 目 次

第一章 總 論

1-1	概 說	1
1-2	內燃機之分類	2
1-3	四衝程火花式內燃機	9
1-4	二衝程火花式內燃機	12
1-5	壓燃式內燃機	15
1-6	火花式內燃機與壓燃式內燃機之比較	17
1-7	內燃機之構造簡述	21

第二章 熱力學基本原理的複習

2-1	工質及其性質	25
2-2	理想氣體	26
2-3	能與能量公式	28
2-4	各種熱力過程變化及其應用	32
2-5	熱力學第一定律	37
2-6	熱力學第二定律	37

第三章 燃料與燃燒

3-1	燃料的種類	39
3-2	汽 油	44
3-3	爆震及辛烷值	48

3-4	柴 油	52
3-5	酒精及其他液體燃料	57
3-6	氣體燃料	59
3-7	燃 燒	62
3-8	燃料的化學能與熱值	66
3-9	廢氣分析	71

第四章 內燃機循環

4-1	循環類別	79
4-2	空氣標準循環	80
4-3	空氣標準雙燃燒循環	82
4-4	空氣標準鄂圖循環	85
4-5	空氣標準狄塞爾循環	87
4-6	溫度與熵的關係圖	89
4-7	理想內燃機循環及其分析	90
4-8	理想內燃機循環效率	91
4-9	實際循環與理論循環的差異	93
4-10	內燃機的熱損失	95
4-11	影響熱損失的各種因素	97
4-12	內燃機的容積效率	101
4-13	內燃機的充量效率	102

第五章 氣體燃料之混合

5-1	氣體燃料與空氣之混合	107
5-2	空氣——燃氣混合器及其調節法	108

第六章 汽 化 器

6-1	汽化原理	113
6-2	汽化器之作用及條件	114
6-3	簡單式汽化器	116
6-4	輔氣限流式汽化器	121
6-5	增氣式汽化器	123
6-6	汽化器之起動裝置	124
6-7	汽化器之加速裝置	127
6-8	高負荷加濃裝置	131
6-9	司空轉機構	134
6-10	汽化器實例	136
6-11	汽油噴射裝置	144

第七章 內燃機之燃燒問題

7-1	空氣標準循環、理想內燃機循環、與實際內燃機 循環之比較	157
7-2	燃燒時間	159
7-3	點火定時	169
7-4	爆震現象及其理論	171
7-5	影響爆震之因素	182
7-6	避免爆震發生之方法	188
7-7	燃燒室之種類及其比較	189
7-8	進汽與排汽之構造	196

第八章 二衝程內燃機

8-1	二衝程內燃機之各種型式	211
8-2	二衝程內燃機之換氣法	212

8-3	二衝程內燃機的潤滑	221
8-4	二衝程機與四衝程機的比較	222

第九章 內燃機的點火系統

9-1	點 火	227
9-2	低電壓點火制	229
9-3	蓄電池高電壓點火制	232
9-4	磁電機高電壓點火制	239
9-5	磁電機制與蓄電池制的比較	242
9-6	電壓要求	243
9-7	點火定時	244
9-8	多缸內燃機的點火順序	246

第十章 燃料噴射系統

10-1	燃料噴射系統之設備及任務	249
10-2	空氣噴射法	250
10-3	無氣噴射法	257
10-4	噴 嘴	265

第十一章 潤滑與冷卻

11-1	潤滑之目的	271
11-2	內燃機之支承種類	274
11-3	各被潤滑部位的工作環境	277
11-4	潤滑的方法	279
11-5	潤滑系統	286
11-6	冷卻之重要性	300

11-7	冷卻的方法	301
11-8	液冷式之構造	307
11-9	特種機件之特別冷卻法	322
11-10	防凍劑及防銹劑	324

第十二章 內燃機試驗

12-1	測功器	329
12-2	轉速的測定	335
12-3	燃料消耗量的測定	339
12-4	示功器	341
12-5	內燃機試驗	352
12-6	功率定額	357
12-7	內燃機的性能曲線	359
12-8	摩擦損失與機械效率	360

第十三章 故障排除與搶修

13-1	內燃機常見的故障	371
13-2	內燃機之一般故障及排除	371
13-3	點火系統之故障及排除	377
13-4	其他部份之故障及排除	378

第十四章 迴轉式內燃機

14-1	內燃機之發展簡史	383
14-2	迴轉式內燃機之發展經過	384
14-3	迴轉式內燃機之工作原理	386
14-4	迴轉式內燃機與往復式內燃機之比較	389

14-5	迴轉式內燃機之優點.....	391
14-6	迴轉式內燃機之缺點.....	394
14-7	迴轉式內燃機之未來展望.....	395

第一章 總 論

1-1 概 說

凡是能够發生動力的機械，叫做原動機(Prime Mover)；而能够使原動機發生動力的本源，即叫做能(Energy)；依據各種動力機運用能的方式之不同，通常將動力機分爲下列四大類。

I. 水力原動機：——凡利用高處之積水冲流而下，使擊動水輪機而發生動力的原動機，叫做水力原動機 (Hydraulic Mover)。

II. 風力原動機：——凡利用風力吹動風車轉動而發生動力的原動機，叫做風力原動機 (Winding Mover)。

III. 熱機：——凡利用各種燃料燃燒後所產生之熱能而發生動力的原動機，叫做熱機 (Heat Engine)。

IV. 原子能原動機：——凡利用原子之能而發生動力的原動機，叫做原子能原動機 (Atomic Mover)。

雖然原動機可分爲上述四大類，但水力原動機、及風力原動機，因受環境的限制，不能普遍採用；而原子能原動機，是近數十年發展成功的原子能和平用途的成果；應用尚不普及，而且因受到種種限制，亦不能廣泛應用。唯有熱機，因不受任何限制，且目前發展，已可謂相當理想，而成爲現代各種工業中動力來源之主要原動機，對社會貢獻至鉅。

熱機是將燃料燃燒所產生的熱能 (Heat Energy)，變成機械能 (Mechanical Energy) 的一種機械；但通常所謂的熱機，復可依其將

熱能變換為機械能的方式不同，又分為內燃機 (Internal Combustion Engine)、及外燃機 (External Combustion Engine) 等兩大類。若將燃料在一個通稱之為汽缸 (Cylinder) 的封閉密室內燃燒，而將燃燒膨脹所產生的熱能，加諸在一個通稱之為活塞 (Piston) 而可在汽缸內移動的活動機件的頂端，藉活塞的移動推動連桿 (Connecting Rod)，致使另一曲軸 (Crank Shaft) 產生迴轉運動而輸出動力者，即稱之為內燃機。反之，若須另外用一鍋爐 (Boiler) 作為媒介，而將燃料在鍋爐之外燃燒，再將燃料燃燒產生的熱能，藉鍋爐之傳導，而將鍋爐中之水變為水蒸汽，再將此水蒸汽導入汽缸中推動活塞而輸出動力者，即稱之為外燃機。因為外燃機將熱能轉化的過程中，必須借助於鍋爐作為媒介，其熱能的傳遞，便多了一個媒介體，多了一層手續，也多了一種麻煩，同時也就多了一種損失，因此外燃機的效率，一般均較內燃機為低；而且外燃機的鍋爐體積巨大笨重，極不方便；但內燃機將熱能轉化的過程，是在汽缸內直接進行，手續非常簡便，而且構造簡單，設備輕巧，價格便宜，操作轉動時又較潔淨，所以應用的範圍極為廣泛，因此，工業中所用的熱機，又以內燃機為主。

1-2 內燃機之分類

內燃機雖然都是將燃料與空氣混合、在汽缸中燃燒、而發生動力的一種原動機，但由於其在各方面所表現的特徵不同，仍可以分成很多種類，且各種分類的方法，亦均不盡相同；由於分類的方法不同，故各種內燃機所屬的類別，也就因之而不同；換句話說：某一內燃機，若用這一種分類法分類，係屬於某一類，但若改用另一種分類法分類，又屬於另一類；也就是說：由於其分類的觀點不同，該一內燃機，所屬的類別亦就因之互異，故各種分類法所包括的各種內燃機。

均相互包容。茲將一般常用的內燃機分類法，分別簡述如後。

I. 依內燃機每一循環之工作方法分，可分為下列三種：

i. 鄂圖循環：——鄂圖循環 (Otto Cycle) 為法國人洛奇 (Beau De Rochas) 於 1862 年理想並開始規劃，至 1876 年為德國人鄂圖 (Otto) 依照洛奇的構想研究發展成功的一種內燃機，故名之為鄂圖循環，一般火花式內燃機，均依照這種循環之程序運行。

ii. 狄塞爾循環：——狄塞爾循環 (Diesel Cycle) 為德國人狄塞爾 (Rudolph Diesel) 於 1897 年所發明，故名之為狄塞爾循環，一般低速度壓燃式重油內燃機，均依照這種循環之程序運行。

iii. 雙燃燒循環：——雙燃燒循環 (Dual Combustion Cycle) 是狄塞爾循環之變相循環，一般中速度、及低速度壓燃式重油內燃機，均依照這種循環之程序運行。

II. 依內燃機每一循環所需之衝程數分類，可分為下列兩種：

i. 四衝程內燃機：——活塞在汽缸內上下往返四個衝程，亦即曲軸每迴轉兩週，始完成一個循環者，謂之四衝程內燃機 (Four-Stroks Engines)。

ii. 二衝程內燃機：——活塞在汽缸內上下往返兩個衝程，亦即曲軸每迴轉一週，即可完成一個循環者，謂之二衝程內燃機 (Two-Stroks Engines)。

III. 依內燃機所燃燒之燃料不同而分類，可分為下列三種：

i. 氣體燃料內燃機：——其所燃燒之燃料為氣體。

ii. 液體燃料內燃機：——其所燃燒之燃料為液體。

iii. 固體燃料內燃機：——其所燃燒之燃料為固體。

現代實用的內燃機，絕大多數均為液體燃料內燃機；此種液體燃料內燃機，又可依燃料之揮發性之程度，分為易揮發的液體燃料內燃機、及不易揮發的液體燃料內燃機。易揮發的液體燃料內燃機，係利

用汽化器先使液體燃料變成汽體，則其運用情形即可與氣體燃料內燃機可謂完全相同。至於不易揮發的液體燃料內燃機，通稱之為重油內燃機，係先將純空氣吸入汽缸之內，利用較大的壓縮比，使空氣因高壓而產生高溫，然後再將重油燃料噴射至汽缸內，即可藉缸內高溫之壓縮空氣，將燃料點燃而燃燒，故通稱之為壓燃 (Compression Ignition) 式內燃機，蓋此種內燃機，無須裝置火花塞使在缸內發生火花而點燃燃料也。

固體燃料內燃機，先後曾由狄塞爾、及另一德國人包李可斯基 (R. Pawlikowsky)，試將煤粉噴入汽缸，以代替油料，但均未獲成功，截至目前為止，仍是先利用發生爐將固體燃料化為汽體，然後再依照氣體燃料內燃機相同之方式運用，故此種內燃機，實際上就是煤氣內燃機，除非在特別情形下始應用之，因之，其使用範圍亦不廣。

又依內燃機所燃燒之燃料不同而分類，亦有分成為下列九種者：

- i. 煤氣機 (Gas Engine)。
- ii. 汽油發動機 (Gasoline Engine)。
- iii. 柴油發動機 (Diesel Engine)。
- iv. 煤油發動機 (Oil Engine)。
- v. 熱球式發動機 (Hot Bulb Engine)。
- vi. 燃氣渦輪機 (Gas Turbine)。
- vii. 迴轉式發動機 (Rotary Engine)。
- viii. 噴射發動機 (Jet Engine)。
- ix. 火箭發動機 (Rocket Engine)。

依以上之分類法而言，其中以汽油發動機、柴油發動機、及噴射發動機等三種，目前應用較廣。

IV. 依內燃機之基本構造及其運行之方式不同分，可分為下列五種：

i. 往復式內燃機：——由活塞在汽缸內作往復運動而產生動力之內燃機，名之爲往復式內燃機 (Reciprocating Engine)。

ii. 燃氣渦輪內燃機：——將氣體燃燒，利用高壓汽體將渦輪推動而產生動力之內燃機，名之爲燃氣渦輪內燃機。

iii. 迴轉式內燃機：——由活塞在汽缸內作迴轉運動而產生動力之內燃機，名之爲迴轉式內燃機。

iv. 噴射式內燃機：——將燃料燃燒使產生之高壓汽體自一噴口噴射而出使產生動力之內燃機，名之爲噴射式內燃機。

v. 火箭式內燃機：——利用火箭原理產生動力之內燃機，名之爲火箭式內燃機。

依以上之分類法而言，其中以往復式內燃機，目前應用最廣；噴射式內燃機，普遍應用在現代各型飛機上；迴轉式內燃機，爲近數十年研究發展成功的一種新型內燃機，目前雖尚有少數缺點，亟待改進，故尚未正式應用，惟未來發展，不可限量；至燃氣渦輪內燃機，及火箭式內燃機，受使用環境限制，故應用亦不廣。

V. 依內燃機點火之方式分，可分爲下列兩種：

i. 火花式內燃機：——將燃料與空氣作適量混合壓縮後，由一火花塞 (Spark Plug) 適時放出火花將混合汽點燃之內燃機，名之爲火花式內燃機 (Spark-Ignition Engines)。所有採用鄂圖循環之汽油內燃機，均爲火花式內燃機。

ii. 壓燃式內燃機：——將純空氣吸入汽缸內壓縮，使被壓縮之空氣因高壓而使其溫度升高至燃料之燃燒點，然後適時將燃料以霧狀形態噴至汽缸內之高壓高溫空氣中而點火燃燒之內燃機，名之爲壓燃式內燃機 (Compression-Ignition Engines)。所有採用狄塞爾循環之柴油內燃機，均爲壓燃式內燃機。

VI. 依內燃機冷却的方法分，可分爲下列兩種：

i. 氣冷式內燃機：——內燃機運轉操作時，因燃料在機體內燃燒，而使機體溫度升高，必須保持其機體之溫度不致過高，始可繼續運轉操作，故需以適當方法冷卻之。凡以空氣冷卻者，即名之為氣冷式內燃機 (Air-Cooling Engines)。

ii. 液冷式內燃機：——凡內燃機以液體冷卻者，即名之為液冷式內燃機 (Water Cooling Engines)；蓋所謂液冷式內燃機所用之液體，通常均為水故耳。

VII. 依內燃機設計之型式分，復可按下列三種情形分類之：

i. 依燃燒之混合汽作用於活塞之情況分，可分為單動式、及雙動式兩種：

1. 單動式內燃機：——凡活塞僅有一端可完成吸汽、壓縮、膨脹、及排汽之作用者，名之為單動式內燃機 (Single Acting Engines)，通常使用的內燃機，多為此種單動式內燃機。

2. 雙動式內燃機：——凡活塞之兩端均可完成吸汽、壓縮、膨脹、及排汽之作用者，名之為雙動式內燃機 (Double Acting Engines)。此種內燃機，只適用於固定的大型內燃機，應用較少。

ii. 依內燃機汽缸之數目分，可分為單缸內燃機、及多缸內燃機等兩種：

1. 單缸內燃機：——凡內燃機僅具有一個汽缸者，名之為單缸內燃機 (Single Cylinder Engines)。此種內燃機，因旋轉扭矩不均勻，轉速欠平穩，且馬力不宜過大，故僅小型機具上始應用之。

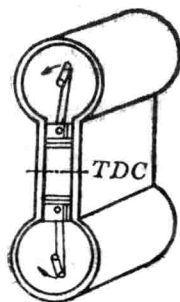
2. 多缸內燃機：——若內燃機具有一個以上之汽缸時，均名之為多缸內燃機 (Multiple Cylinders Engines)。常見者有二缸機、三缸機、四缸機、五缸機、六缸機、七缸機、八缸機、十缸機、十二缸機、十六缸機、廿四缸機等多種；通常以缸的數目為偶數者為較常用，一般最通用者為二、四、六、八、十二等多種；船用內燃機常有

採用三缸、及五缸者；七缸機、及九缸機，多用於飛機上所使用之星式內燃機上。

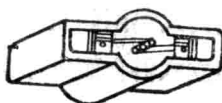
iii. 依內燃機汽缸排列之型式分，計可分為下列五種：

1. 立式內燃機：——若內燃機之汽缸係上下垂直排列時，如圖 1-2.1 之(a)圖所示者，名之為立式內燃機(Vertical Type Engines)。此式內燃機，佔地面積較小，惟因其上下往復運動時之慣性不平衡，震動較大。

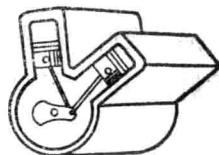
2. 臥式內燃機：——若內燃機之汽缸係左右平鋪排列時，如圖 1-2.1 之 (b) 圖所示者，名之為臥式內燃機(Bench Type Engines)。此式內燃機，佔地面積較大，高度小；雖其左右往復運動之慣性亦不平衡，惟因其係平鋪地上，基礎較為廣闊，比較穩定。



(a) 立式內燃機



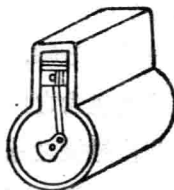
(b) 臥式內燃機



(c) V式內燃機



(d) 星式內燃機



(e) 單缸內燃機

圖 1-2.1 汽缸之排列型式

3. V式內燃機：——若內燃機之汽缸相互成V字形排列時，如

圖 1-2.1 之 (c) 圖所示者，名之爲 V 式內燃機 (V Type Engines)。此式內燃機，因兩排汽缸之中心線，均在兩相交平面之內，故可使每對汽缸內的活塞，均作用在同一曲柄軸上，遂可使內燃機之總長縮短，亦可使曲柄軸的彎曲數目減少，其 V 形間之角度，以 45° 、及 90° 兩種，較最常用，多用在船用內燃機上。

4. 星式內燃機：——若內燃機之各汽缸中心均通過曲柄軸中心成輻射狀排列時，如圖 1-2.1 之 (d) 圖所示者，名之爲星式內燃機 (Radial Type Engines)。此式內燃機，其最大特點爲機體之長度，在各式內燃機中爲最長者，且因多個汽缸共用一個曲柄軸箱，故每匹馬力之機體重量最小，惟潤滑油須靠油泵供給，多用於螺旋槳飛機、或坦克車上。

5. 其他式內燃機：——內燃機之汽缸排列型式，常用者已如上所述，惟間亦有其他型式排列者，但應用較少，且亦均爲上述各式之變形、或併合而成者；如相對式爲兩個立式併合而成，W 式爲兩組 V 式併合而成，H 式亦爲兩組立式併合而成等均是，故不再一一分別贅述。

所謂依內燃機汽缸排列之型式分類，係指多缸內燃機而言，至單缸內燃機，其擺放的方向，均依其需要而定，一般常用者多爲直立式，如圖 1-2.1 之 (e) 圖所示。

以上所述內燃機之分類，由於分類之方法不同，故分類亦因之互異，而各種分類法所包含之內燃機，均互相包容。不過，在此須特別加以說明者，如依內燃機之基本構造及其運行之方式不同分，內燃機可分爲五種，可知內燃機之基本構造及其運行之方式，可分爲五種，而各該種內燃機之基本構造及其運行方式，卻迥然不同，目前工業方面所使用之內燃機，除噴射式飛機應用噴射式內燃機外，其餘絕大多數均應用往復式內燃機，故本書討論之範圍，除必要時將他式內燃機

略予介紹外，全書主體，仍以往復式內燃機為對象。

1-3 四衝程火花式內燃機

四衝程火花式內燃機，是活塞在汽缸內上下往復四次，亦即曲柄軸旋轉兩週，利用火花塞冒出火星點火，並依鄂圖循環運行的內燃機。大多數汽油機、煤氣機、及其他很多輕油機，都採用此種循環運行。圖 1-3.1 為四衝程火花式內燃機之運行情況，圖 1-3.2 為四衝程火花式內燃機所遵循之鄂圖循環的過程；茲依該兩圖所示，將此種內燃機之運行情況、及其循環過程，逐步說明如後。

第一衝程為進氣衝程 (Suction Stroke)，其活塞運行如圖 1-3.1 之 (a) 圖所示，此時排氣閥 (Exhaust Valve) 關閉，進氣閥 (Intake Valve) 開啟，活塞自上死點 (Top Dead Center) 運行至下死點 (Bottom Dead Center)，將新鮮混合汽 (Mixture) 吸入汽缸。其循環過程如圖 1-3.2 之 ab 線所示，此一過程，由於活塞將混合汽在等壓的情況下吸入汽缸，可視作為等壓過程。

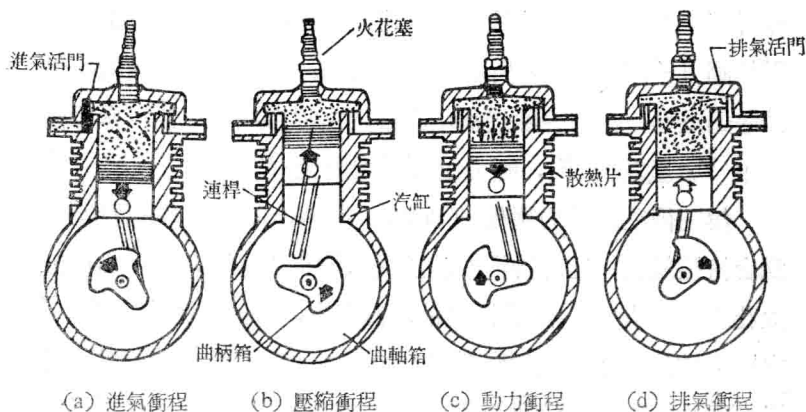


圖 1-3.1 四衝程火花式內燃機之運行情況