

內燃機

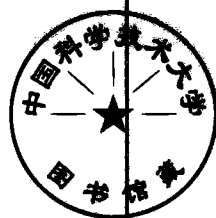
王宏基編

愛護人民財產

龍門聯合書局印行

內 燃 機

王 宏 基 編



龍 門 聯 合 書 局 印 行

內 燃 機

版權所有



不准翻印

一九五一年九月初版

定價人民幣 48,000 元

編 者

出版者

發行所

分銷處

基

龍 門 聯 合 書 局

上海南京東路六一號一〇一室

電 話 一 八 一 一 九

中國科技圖書聯合發行所

上海中央路二四號 四室

電 話 一 九 六 六 六

電報掛號 二 一 九 六 八

龍門聯合書局及各地分局

上海總店 河南中路 40 號

上海支店 南京東路 57 號

大 82 號

號

號

分局 中山 8 號

漢口分局 江漢 3 號

瀋陽分局 太原街 40 號

天津分局 錦州路 303 號

西安分局 中山大街 217 號

序

年來担任內燃機講席，苦無適當之現存教本，或太偏重於理論，脫離實際，或太偏於應用，忽視理論，往往不能二者兼顧，以符合理論與實際相結合之要求。且目前國內關於內燃機之教本，不論著作或譯本，均尙稀少。於是由此動機，編譯本書，以應需要。

本書內容，主要取自 Lester C. Lichty: Internal Combustion Engines; V. I. Maleev: Internal Combustion Engines; Jennings & Obert: Internal Combustion Engines; 及 Taylor & Taylor: Internal Combustion Engines 等書。取材時儘量注意理論與實際兼顧。其主要目的，爲使將來學習內燃機設計之同學，具備一結實之基礎，且對於內燃機之使用及選擇，亦有莫大之幫助。

本書包括熱力學，燃料與燃燒，理想循環之分析，各種燃料之使用方法，實際燃燒問題及燃燒室，實際循環與理想循環之偏差，二衝程內燃機，點火系，內燃機力學，潤滑問題，冷卻問題，內燃機之試驗定額及性能等共十八章，適合於工程大學三四年級選爲教本之用。若每週授課三小時，一學年可以授畢。若將其中理論較深部分簡略，則每週授三四小時，可於一學期內授畢。本書末部，附有習題，每章授畢後，可使學生演習，藉以鞏固所學習之教材。

本書脫稿之後，因急於付梓，未及就正於國內諸同道，謬誤之處，在所難免，尙望採用此書者不吝指正，多提意見，則幸甚。

一九五一年八月王宏基序於交通大學

目 錄

第一章 導言	1-19
1-1. 概說	1
1-2. 內燃機的分類	1
1-3. 四衝程火花式內燃機	4
1-4. 二衝程火花式內燃機	9
1-5. 壓燃式內燃機	11
1-6. 教材及習題	18
第二章 熱力學基本原理的複習	20-48
2-1. 介質及其性質	20
2-2. 理想氣體	20
2-3. 各式的能	24
2-4. 能量公式	28
2-5. 多變過程	30
2-6. 圖解法	33
2-7. 能的可用性	36
2-8. 可逆性	40
2-9. 熱力學第二定律	43
第三章 燃料	49-97
3-1. 燃料的種類	49

3-2.	烴屬燃料	49
3-3.	烷屬烴	51
3-4.	烯屬烴	54
3-5.	二烯屬烴	54
3-6.	環烷屬烴	55
3-7.	芳烴	55
3-8.	其他與內燃機有關的有機化合物	59
3-9.	石油的提煉	59
3-10.	石油的分餾法	60
3-11.	熱分裂法	61
3-12.	催化分裂法	62
3-13.	結合法	63
3-14.	加氫法	64
3-15.	綜合法	65
3-16.	汽油	65
3-17.	蒸餾試驗及揮發性	66
3-18.	膠質	78
3-19.	硫	79
3-20.	爆燃及辛烷數	80
3-21.	其他易揮發的液體燃料	81
3-22.	狄賽爾油(柴油)	87
3-23.	氣體燃料	94
第四章	燃燒	98-140
4-1.	燃燒定義	98
4-2.	化學反應公式	98
4-3.	化學能與熱值	102
4-4.	全燃燒溫度	115

4-5. 分離及化學平衡.....	117
4-6. 化學平衡燃燒溫度.....	121
4-7. 燃燒圖的繪製.....	125
4-8. 燃燒圖.....	132
4-9. 廢氣分析.....	135
第五章 理想內燃機循環.....	141-170
5-1. 循環類別.....	141
5-2. 空氣標準循環.....	142
5-3. 空氣標準雙燃燒循環.....	143
5-4. 空氣標準郭圖循環.....	145
5-5. 空氣標準狄賽爾循環.....	148
5-6. 溫度-熵的關係圖.....	149
5-7. 理想內燃機循環.....	150
5-8. 理想火花式內燃機的循環分析.....	151
5-9. 理想狄賽爾內燃機循環分析.....	162
5-10. 理想雙燃燒內燃機循環.....	166
5-11. 理想內燃機循環效率.....	168
第六章 氣體燃料混合器.....	171-176
6-1. 氣體燃料與空氣的混合.....	171
6-2. 調節法.....	171
6-3. 空氣-燃氣混合器.....	172
6-4. 壓燃式燃氣機.....	175
第七章 汽化問題及汽化器.....	177-218
7-1. 汽化原理.....	177
7-2. 汽化器任務及條件.....	177

7-3.	流體的流量.....	180
7-4.	簡單汽化器.....	185
7-5.	補整汽化器或稱主汽化器.....	188
7-6.	隋轉射口.....	196
7-7.	滿載加濃設備.....	197
7-8.	加速及瞬時加濃裝置.....	199
7-9.	阻氣閥.....	201
7-10.	商品汽化器.....	201
7-11.	航空汽化器.....	202
7-12.	膜式汽化器.....	205
7-13.	噴射式汽化器.....	209
7-14.	汽化附帶問題.....	212
第 八 章 重油噴射問題及重油噴射系		219-264
8-1.	燃料噴射.....	219
8-2.	燃料噴射系.....	225
8-3.	燃料噴射法分類.....	225
8-4.	燃料噴射系的任務.....	228
8-5.	空氣噴射法.....	231
8-6.	無氣噴射法.....	236
8-7.	單位泵制度中噴射配備.....	237
8-8.	共軌制噴射系,或稱等壓噴射	250
8-9.	組合噴射器.....	252
8-10.	噴射所需的功.....	254
8-11.	噴射系的流體力學.....	255
8-12.	噴射過程的圖解法.....	260
8-13.	噴射過程的歷史圖.....	262

第九章 火花點火式內燃機的燃燒問題(正常燃燒)..... 285-294

- 9-1. 空氣標準循環,理想內燃機循環,及實際內燃機循環
的比較..... 265
- 9-2. 混合劑不勻的影響..... 267
- 9-3. 逐步燃燒的影響..... 267
- 9-4. 燃燒時間..... 270
- 9-5. 燃燒時間影響循環效率的計算法..... 281
- 9-6. 點火定時..... 283
- 9-7. 燃燒率簡易估計法..... 285
- 9-8. 燃燒室容積分佈..... 288
- 9-9. 燃燒室..... 291

第十章 火花點火式內燃機中的爆燃問題(不正常燃燒)--- 295-314

- 10-1. 爆燃現象..... 295
- 10-2. 爆燃理論..... 297
- 10-3. 爆燃因素..... 301
- 10-4. 防爆劑..... 308
- 10-5. 易揮發燃料的爆燃強度測定法..... 309

第十一章 壓燃式內燃機中的燃燒問題及其燃燒室..... 315-341

- 11-1. 壓燃式內燃機中的燃燒現象..... 315
- 11-2. 燃燒階段..... 316
- 11-3. 落後時期..... 317
- 11-4. 第二階段..... 323
- 11-5. 壓燃機內爆燃問題..... 323
- 11-6. 第三燃燒階段..... 326
- 11-7. 第四燃燒階段..... 327

11-8.	壓燃機燃燒室設計問題.....	328
11-9.	空氣運動.....	328
11-10.	燃燒室種類.....	335
11-11.	燃燒室特性.....	338
11-12.	燃燒室的比較.....	339
第十二章	實際循環與理想循環的偏差.....	342-377
12-1.	從理想循環到實際循環.....	342
12-2.	直接熱損失.....	343
12-3.	影響熱損失的各因素.....	345
12-4.	熱損失的計算.....	351
12-5.	排吸損失.....	355
12-6.	容積效率.....	357
12-7.	充量效率.....	358
12-8.	四衝程發動機中空氣充量的檢討.....	365
12-9.	動力效應.....	372
12-10.	靜止及動力聯合效應.....	375
第十三章	二衝程內燃機.....	378-396
13-1.	二衝程內燃機各種型式.....	378
13-2.	回流換氣法.....	378
13-3.	單流換氣.....	382
13-4.	氣缸性能.....	385
13-5.	換氣效率.....	387
13-6.	換氣泵.....	392
13-7.	二衝程機與四衝程機的比較.....	394
第十四章	點火系統.....	397-411

14-1.	點火	397
14-2.	低電壓火花制	397
14-3.	高電壓火花制	399
14-4.	點火定時	405
14-5.	電壓要求	407
14-6.	磁電機點火制	407
14-7.	磁電機制與蓄電池制的比較	410
14-8.	多氣缸發動機的點火順序	410
第十五章	內燃機力學	412-428
15-1.	內燃機中主要活動部分所受的力	412
15-2.	活塞運動的分析	412
15-3.	力的分析	415
15-4.	力矩變更及飛輪	421
15-5.	軸承載力分析	425
第十六章	潤滑問題及潤滑系	429-455
16-1.	潤滑目的	429
16-2.	支承種類	430
16-3.	液體潤滑力學	431
16-4.	潤滑部分的工作情況	433
16-5.	滑油特性	434
16-6.	潤滑系	440
16-7.	活塞與氣缸壁的潤滑	446
16-8.	軸頸的潤滑	448
第十七章	冷卻問題及冷卻系	456-482
17-1.	冷卻的重要	456
17-2.	熱量傳遞	456

17-3.	液體冷卻法.....	465
17-4.	冷卻液環流.....	467
17-5.	蒸發冷卻制.....	469
17-6.	水的再冷卻.....	470
17-7.	氣涼法.....	472
17-8.	活塞頂中的傳熱.....	478
17-9.	排氣閥冷卻.....	482
第十八章	內燃機的試驗, 定額, 及性能.....	483-527
18-1.	測功器.....	483
18-2.	轉速的測定.....	488
18-3.	燃料消耗量的測定.....	489
18-4.	示功器.....	490
18-5.	內燃機試驗.....	492
18-6.	功率定額.....	494
18-7.	性能曲線.....	496
18-8.	摩擦損失及機械效率.....	497
18-9.	空氣充量.....	503
18-10.	燃料消耗率.....	508
18-11.	大氣情況對性能的影響.....	511
18-12.	發動機性能的改善.....	514
18-13.	發動機轉速.....	515
18-14.	增壓.....	516
18-15.	增壓發動機的高空性能.....	519
18-16.	增壓器.....	520
18-17.	熱量平衡表.....	525
習 題		529
索 引		543

第 一 章

導 言

1-1. 概說 內燃機所用的能，與蒸汽機及汽輪機一樣，都是熱能。但在許多場合，內燃機非但可與其他熱機競爭，而且可以稱霸，其決定因素，主要是看它的用途。內燃機最主要的用途，是用在運輸工具上，例如自動車，卡車，及飛機都是。在這種場合，內燃機使用簡單，及其輕便巧小，是它被採用的主要原因。其次，在許多小型及中型動力廠內，在農場上，在小的工廠裏，也都採用內燃機為原動力，主要是用氣體燃料及重油為燃料，其理由為運用簡單及價格便宜。有時，在大的發電廠裏，在船舶上，在機車上，為着潔淨的關係，也有採用內燃機的；在這種場合，重油機最合適，因燃料經濟。

內燃機利用熱能的效率較高，這是它重要特徵之一。內燃機用途擴展的原因，也因為它能適用各種燃料，——氣體，液體及固體。前兩種可以直接使用；但固體燃料，大都先把它變成氣體，然後使用。

本書為着介紹內燃機的選擇，運用，及設計時所遇到的問題，首先將內燃機的分類及各種典型的內燃機，作一簡要說明。其次將熱力學的基本原理，及其在內燃機理論上的應用，加以複習。然後講述各種燃料的特點，並怎樣把燃燒所發出的熱能，儘量利用的條件和方法。內燃機氣缸內的實際燃燒問題，也要加以分析。其他如點火，冷卻，內燃機力學及潤滑等問題，都將順序講論。最後要討論內燃機的試驗，定額，及性能的要點。

1-2. 內燃機的分類 內燃機的分類，可以根據它各方面的特徵：例如它所運用的循環，充氣的方法，所用的燃料，設計的一般情況；如果

按設計的一般情況分類，可以包括點火的方法，氣缸的數目及排列法，以及轉速等等。這樣分類，時常會互相抵觸，因為如果看法不同，某一內燃機的歸類，也就不同了。

內燃機循環——內燃機如果按循環來分，則不外乎下列三種：——

1. 鄂圖循環 (Otto cycle)——鄂圖循環是在 1862 年法人 Beau De Rochas 所規劃的，到了 1876 年，德人鄂圖，按着 Beau De Rochas 所規劃的循環，製造一發動機，大為成功，因此這個循環遂稱為鄂圖循環。火花式的內燃機，大都按照這個循環運行。

2. 狄賽爾循環 (Diesel cycle)——這個循環是 1897 年狄賽爾 (Rudolph Diesel) 所發明的，低速度的壓燃式重油機，大都按這循環運行。

3. 雙燃循環 (dual combustion cycle)——這個循環是狄賽爾循環的變相，中速度及高速度的壓燃式重油機，大都按這循環運行。

以上三個循環，在第五章內都要詳細說明和分析，所以這裏從略。

充氣方法——內燃機氣缸的充氣方法，依每一循環的衝程數目而異。現在所通用的，不外乎兩種：一種叫四衝程機，意即每一循環需要四衝程來完成。另一種叫二衝程機，意即每一循環，需要二衝程來完成。

燃料——按着燃料來區別，內燃機可分為三類：用氣體燃料的；用液體燃料的；和用固體燃料的。用液體燃料的內燃機，可再分為兩類：一類用易揮發的燃料；另一類用重油，意即不易揮發的液體燃料。易揮發的液體燃料，用汽化器使他蒸發，運用時與氣體燃料相似。

在重油機裏，當壓縮衝程將終了時，燃料被噴入氣缸內的空氣中。這種內燃機，可按壓縮比的大小，分為低壓縮，中壓縮，及高壓縮三種。在低壓縮的重油機裏，燃料的點火，依靠燃燒室內的熱面，例如熱泡 (hot bulb) 或電火花。中壓縮的重油機，大都靠空氣被壓縮時所達的高溫點火，但始動時需用特種點火器。在高壓縮的重油機裏，則完全靠空氣被壓縮時所達的高溫點火，即使在始動時也不用點火器幫助。

這種靠空氣被壓縮時所達高溫的點火法，簡稱為壓燃 (compression ignition)。

隨著無氣噴射法 (airless injection) 的發明，顯示高壓縮的重油機未必較中壓縮的重油機更昂貴，而且也不一定需要技術更高明的技師來管理和使用。因此，幾乎所有製造中壓縮重油機的廠家和一部分製造低壓縮重油機的廠家，都更改他們的設計，將壓縮比提高，這樣就使內燃機在任何情況下都靠壓燃法來點火。現在所用的低壓縮重油機，大都是二衝程的，主要目的，在乎價值便宜。

採用固體燃料的內燃機，至今還是先用發生爐將固體燃料化為氣體燃料，然後使用，因此這種內燃機與燃氣機無異。約在四十年前，狄賽爾曾經試將煤粉噴入氣缸，以代油料，但未見成功。另一德人包李可斯基 (R. Pawlikowsky) 也曾發明過使用煤粉的內燃機，其設計與狄賽爾原來的設計相似。

直接在內燃機裏燒固體燃料的主要困難，是煤灰的磨損作用，使氣缸襯壁，活塞，及活塞圈極易耗損。如果能將這種磨損減少到實用限度，這一類的內燃機頗有發展的可能，因為煤的蘊藏，遠較其他燃料豐富。

點火方法——現在內燃機的點火方法，大都可分為兩種，一種用電火花點火，簡稱為火花式內燃機。一種靠空氣被壓縮時所達的高溫，將噴入的燃料點燃發火，這種內燃機，簡稱為壓燃式內燃機。

設計的一般情況——關於設計的一般情況，內燃機可分為單動式 (single-acting)，或雙動式 (double-acting)。後面一種，只適用於固定的大發動機。其他分類的方法，有按氣缸的安置地位而分，例如臥式或立式內燃機，意即氣缸的中心線，或成水平或與水平線垂直。有按氣缸的數目而分，例如單氣缸或多氣缸發動機；可說明他的數目，以誌區別。

在 V 型發動機裏，有兩排氣缸，列成 V 形，氣缸的中心線，都在二相交平面之內，這種排列法，可使每對氣缸內的活塞，都作用在同一曲

柄上，這樣可把曲軸及整個發動機縮短。

在星型發動機裏各氣缸的中心線，都在一個平面之內，各中心線相交成等角，排成星形。這樣可使所有的活塞都作用在一個曲柄上，曲軸的長度，可算縮短到極限。

其他排列的方法很多，這裏一時也無法枚舉。

調節法——內燃機的調節法，按性質可分三類：

1. 變量調節 (quantity governing)——這種調節法是操縱每一循環中吸入氣缸的充量。若內燃機的轉速保持不變，則充量增減，馬力也跟着增減。

2. 變質調節 (quality governing)——在這裏充氣的重量不變，只改變空氣-燃料比。在普通情況之下，若空氣-燃料比改變，燃料分量必增減，則發生的熱能也增減，所以馬力也隨着增減。

在實際情況下，變量調節和變質調節，多少有些混雜。意思說在變量調節時，質地也有些改變；而在變質調節時，分量也有些改變。

3. 斷續法調節 (hit and miss governing)——在這種調節法裏，發動機每分鐘的轉數，雖然不變，但實際有效循環的數目，隨着所需的馬力增減。所需的馬力若增，調節器就使發動機按着正常情形所完成的循環加多，所以每分鐘的有效循環數目就增加。若所需馬力減小，則調節器就使發動機所缺掉的有效循環加多，意即發動機在某些循環中不吸進新鮮混合劑，或者不噴射燃料，以致發動機缺掉一個或幾個有效循環，然後再繼續正常的循環。這樣，每分鐘的有效循環就減少。

其他分類的方法，有按用途的，有按轉速的，有按冷卻方法的；總之，若要分得清楚，必須按着各種不同的觀點，把這內燃機的類別說明。

1-3. 四衝程火花式內燃機 簡圖 1-1. 表示一架四衝程的火花式發動機，和它的運行情況。

圖 1-1a 裏表示壓縮衝程正在進行。在這衝程中，活塞把氣缸裏的混合劑壓縮，使它的溫度和壓力都增加。當活塞趨近上靜點時，火花

塞 sp 的電極間，通電使生火花，把混合劑點燃；因為混合劑的溫度和壓力已經相當高，所以一經點火，它就幾乎在瞬時間就燃燒完畢，溫度和壓力，就因此突增。

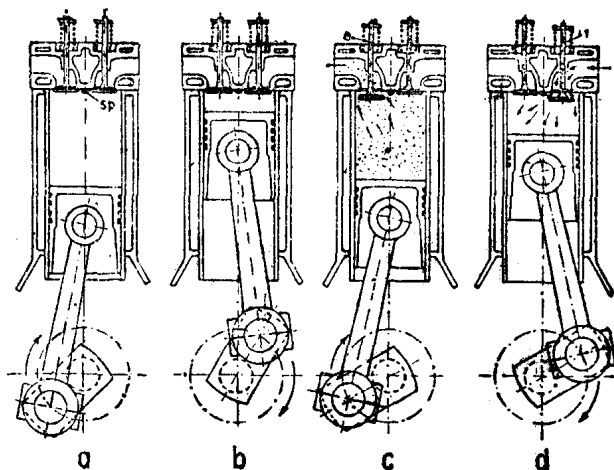


圖 1-1. 四衝程循環的運行情況。

圖 1-1b 表示動力衝程正在進行。其時氣體的壓力，把活塞推向下靜點。在這衝程中，氣體因膨脹而做工，這是每一循環中發生動力的主要衝程。當活塞趨近下靜點時，排氣閥 e 即被開啓，那時氣缸內的廢氣壓力，急驟下降，這一段時間，稱它叫放氣 (release)。

當活塞再從下靜點移至上靜點時，留在氣缸裏的廢氣即被活塞從排氣閥 e 推出。這一衝程，稱為排氣衝程，即圖 1-1c 所示。

當活塞再下降的時候，吸氣衝程就開始，其時排氣閥 e 已經關閉，而進氣閥 i 則已開啓。當活塞移動時，氣缸內產生吸力，把新鮮的混合劑——空氣和氣體燃料或已經揮發的汽油，吸入氣缸。

圖 1-2 是一典型的四衝程火花式內燃機的示功圖，其中 1-2 即相當壓縮衝程；2-3 表示燃燒過程，幾乎是等容的。3-4 代表動力衝程，或稱膨脹衝程；4-5 代表放氣和排氣衝程；5-1 表示吸氣衝程。