

內 燃 機

Internal Combustion Engines

原著者：Rowland S. Benson
N D. Whitehouse

譯述者：賴 玲 瑩

科技圖書股份有限公司

內 燃 機

Internal Combustion
Engines

原著者：Rowland S. Benson
N D. Whitehouse

譯述者：賴 玲 瑩

科技圖書股份有限公司

序 言

在能源短缺與環境管制的需求聲中，對內燃機的發展造成了重大的衝擊；在這發展途中，對發生在引擎內的熱力過程必需有更密切的瞭解。作者等在過去三十年來，連續不斷在工業界及大學中，從事實際參與內燃機的設計、發展、研究以及教學工作，對本書表現出若干辛勞播種所得的果實。大多數資料是原始的，而且有些迄未刊行的。這些資料曾用於作者等執教學校中的學士班最後一年課程與碩士班課程。

本書的特色是，兩個可用在簡單循環計算的福傳程式列表；一個用於火花點火引擎循環，另一個是用於壓縮點火引擎循環。對目前在設計部門正規使用的更複雜循環計算方法，亦作概略說明。書中所列在壓縮點火引擎燃燒過程的定量資料，以及火花點火引擎的若干數據，係根據作者在實驗室中所得的最新研究結果。

本書的主要內容是有關內燃機引擎的熱力學方面，但不可避免的也包括硬體外貌。由於對引擎運轉過程的確實瞭解有賴於實驗工作。因此，列入有關實驗方法作為附錄，但有些技巧只能用在更高深的研究設備。

作者們對幫助完成本書所用數據的各位研究生，研究助理以及技術員等同仁們深致謝意。又對各項圖表的出版公司與學會誌謝，並感謝 M. Mc Donnell 夫人及 P. Shepherd 夫人幫忙原稿的打字工作，以及 J.A. Munro 幫忙攝影與預備副本的打字工作。

編著者：R S. Benson 朋 生

N D. Whitehouse 懷德好施

內 燃 機 目 錄

序 言

第一章 內燃機的種類

1.1	緒 言	1
1.2	壓縮點火引擎	2
1.2.1	壓縮點火引擎的燃燒室	3
1.3	間接或火花點火引擎	13
1.3.1	間接或火花點火引擎燃燒室	14
1.3.2	分層進氣引擎	19
1.3.3	火炬點火引擎	20
1.4	旋轉式引擎	20
1.4.1	Wankel型引擎	20
1.5	參考書目	21

第二章 基本熱力學與氣體動力學

符 號 表

2.1	狀態方程式	24
2.2	熱力學第一定律	25
2.2.1	閉系統	25
2.2.2	開系統	27
2.3	熱力學第二定律	31
2.4	均熵流	33
2.4.1	連續方程式	34
2.4.2	動量方程式	35

2 內燃機

2.5	氣體混合物	37
2.6	內能與焓圖	39
2.7	分 解	45
2.8	參考書目	52

第三章 空氣的標準循環

符 號 表

3.1	空氣標準循環的效率	55
3.2	限 制	64

第四章 壓縮點火引擎的燃燒

符 號 表

4.1	燃燒過程的描述	71
4.2	壓縮點火燃燒計算模式	75
4.2.1	單區燃燒模式	76
4.2.2	兩區燃燒模式	85
4.2.3	多區燃燒模式	90
4.2.4	紊流預定模式	90
4.3	燃燒產生的放射	91
4.3.1	油 煙	91
4.3.2	氣體污染物	94
4.4	參考書目	95

第五章 火花點火引擎的燃燒

符 號 表

5.1	控制、非控制、正常與不正常燃燒的定義	99
5.2	正常燃燒	99
5.3	不正常燃燒 - 引擎的爆震	105

5.3.1	碳氫化合物 - 氧混合氣體的燃燒研究	106
5.3.2	引擎研究	112
5.3.3	燃料添加物對爆震的影響	118
5.4	非控制燃燒 - 預先點火與持續點火	119
5.4.1	預先點火	119
5.4.2	持續點火	120
5.4.3	發聲點火	120
5.5	正常燃燒的化學熱力學模式	120
5.6	燃燒產生的廢氣排出物	123
5.6.1	一氧化碳	125
5.6.2	氧化氮	125
5.6.3	碳化氫(碳氫化合物)	136
5.7	參考書目	137

第六章 引擎的熱傳遞

符 號 表

6.1	基本定理	141
6.1.1	輻 射	142
6.1.2	由黑煙類的固體粒質雲而來的輻射	148
6.1.3	對流熱傳遞	149
6.2	內燃機的熱傳遞 - 縱覽	151
6.3	內燃機的熱傳遞 - 若干實際的考慮	154
6.4	瞬間熱傳遞計算	160
6.4.1	單區熱傳遞計算	160
6.4.2	多區熱傳	163
6.5	數 值	165
6.6	參考書目	167

第七章 氣體交換過程

符 號 表

7.1	四衝程與二衝程引擎的氣體交換過程.....	172
7.2	定 義.....	179
7.3	氣體交換過程的熱力學.....	183
7.3.1	排氣噴洩期間.....	183
7.3.2	排氣衝程.....	187
7.3.3	吸氣衝程.....	189
7.4	驅氣過程.....	201
7.4.1	等溫驅氣模式.....	202
7.4.2	非等溫驅氣模式.....	210
7.5	氣體交換期間的流動過程.....	219
7.5.1	排氣閥或出口面積.....	219
7.5.2	二衝程引擎的進氣口面積.....	228
7.5.3	減小進氣口面積.....	231
7.5.4	四衝程引擎的進氣閥面積.....	234
7.6	火花式點燃汽油引擎的進氣系統 - 汽化器.....	237
7.7	不穩定流的波動作用.....	241
7.8	參考書目.....	243

第八章 壓縮式點火引擎循環過程計算

符 號 表

8.1	簡 介.....	245
8.2	燃燒過程的熱力學.....	246
8.3	理想雙燃循環.....	250
8.3.1	等熵壓縮.....	251
8.3.2	定容下的絕熱燃燒.....	254

8.3.3	定壓下的絕熱燃燒	258
8.3.4	等熵膨脹	261
8.3.5	循環研究	261
8.4	單區燃燒模式	264
8.5	多區模式	277
8.5.1	兩區模式的熱力學	277
8.5.2	多區模式	279

第九章 火花點火引擎循環計算

符 號 表

9.1	使用碳化氫 - 空氣混合物的理想 Otto 循環	281
9.1.1	絕熱壓縮	285
9.1.2	定容下的絕熱燃燒	289
9.1.3	絕熱膨脹	297
9.1.4	循環的研究	301
9.2	考慮燃燒時間、熱損失與速率動力學的循環計算	308
9.3	參考書目	315

第十章 增 壓

符 號 表

10.1	汽缸內情況與平均有效壓力間的關係	319
10.2	機械增壓	320
10.3	渦輪增壓機	324
10.4	平均排氣溫度	329
10.5	簡單渦輪增壓系統	335
10.6	理想渦輪增壓系統	339
10.6.1	二衝程引擎	341
10.6.2	四衝程引擎	350

10.7	實際渦輪增壓系統	357
10.8	排氣系統效率	361
10.8.1	定壓渦輪增壓	364
10.8.2	脈衝渦輪增壓	369
10.9	渦輪機與引擎的配合	377
10.10	高壓渦輪增壓	382
10.11	渦輪增壓機的若干性能特性	383
10.12	參考書目	388

附錄 I 實驗方法

符 號 表

I.1	壓力測量與記錄	391
I.2	溫度量測與記錄	395
I.2.1	組成元件的溫度量測	397
I.2.2	氣體溫度量測	406
I.3	燃燒攝影與火焰速率檢測	409
I.4	光譜法	411
I.5	化學分析技巧	413
I.5.1	取樣閥	414
I.5.2	Orsat 儀器	415
I.5.3	非分散性紅外線 (NDIR)	415
I.5.4	火焰離子探查器 (FID)	417
I.5.5	氣體層析計	418
I.5.6	化學冷光	420
I.6	參考書目	421

附錄 II

II.1	混合物的熱力學性質	423
------	-----------	-----

II.2	雙燃循環程式.....	429
II.3	Otto循環程式.....	437

第一章 內燃機的種類

1.1 緒 言

第一章，是作為接下幾章的臺階，並指出其一般範圍與限制。為使討論易於了解，先介紹燃燒過程中的某些項以及描述性的題材。這些將在稍後章節中擴充說明。內燃機（internal combustion engine），這個名詞可能會引起某些誤解。按字面而言，它提供太廣泛的範圍。本書的主題，是處理內部間歇式燃燒引擎，因此不包括氣渦輪機，那是屬於內部連續燃燒引擎的範圍。就一般而言，除排氣驅動的渦輪增壓機為重要的輔助器外，並不包括渦輪機（turbocharger）。

另一項重要的限制是，我們只處理引擎的熱力學與氣體動力學，而不是引擎的設計。關於機械設計方面的若干問題是不可避免的，因其與熱力學的應用有所衝突。因此，從本章可得到某些一般的描述性內容。至於引擎的結構以及機械方面的詳細知識要另參考別書。

內部，間歇式燃燒引擎（intermittent combustion engine），對大多數人而言都很熟悉。因其普遍用在機動車輛中當作原動機（prime mover）。通常這些引擎是往復式的（reciprocating），其主要移動部分是活塞，在直線上來回移動，而在端點時，一段極小期間內是靜止的。與某些通俗的見解相反的是，當運動作反向時，並不影響其效率—在此過程的本質上，並不包含損失。轉動式（rotary）優於往復式動作，主要是其緊密性（compactness）問題，而並不直接牽涉到熱力學與氣體動力學問題。

在接下的各章中，用於轉動式或往復式引擎均可，只要訴諸適當的空間特性，尤其是燃燒室體積，氣口截面積與表面積以及對時間的

變化。

引擎的種類，可用許多方式來區分成不同的種類。一種是用其功能來分：船用引擎，用作海上船隻的推進；工業引擎，用在陸上作產生動力工作；汽車引擎，用作陸地運輸。對設計師而言，以下的情況可能是重要的。對一個偶爾用在短時間的引擎，就像備用機組（standby set）所用的，與對連續使用主要動力產生的引擎，其成功的限制及性能標準，有很明顯的差異。但對我們的目的而言，主要是根據燃燒、熱力學與氣體動力學來區分。

根據燃燒特性（combustion characteristics）來區分，主要是點火（ignition）的問題——或是使用自動點火（self-ignition），或是使用間接點火（indirect ignition）。使用間接點火時，燃燒室內某一點的溫度要迅速上升，使那點附近的空氣及燃料混合物點火，此可由電火花（electric spark）的典型方法獲得。因此，間接點火通常稱為“火花點火”（spark ignition）。雖然尚有其他型式的點火方法亦可達到相同的結果，但這些型式與我們對引擎的處理方式，僅有些微差別（如果有時）。

至於自動點火，燃料／空氣混合物，會被加熱到高溫，並發生瞬間點火——整個混合物大致同時發生。

1.2 壓縮點火引擎

實際上，自動點火係由壓縮得到的。由於發生迅速，故幾為絕熱過程。會使空氣或空氣／燃料混合物的溫度上升，當達到高於自動點火時燃料的溫度。用壓縮點火（compression ignition）表達這過程的本質，要比較廣泛使用的“diesel”引擎（diesel engine）更具含意。

壓縮點火引擎，可製成轉動型式，而且已發展成Wankel型（Wankel-type）diesel引擎。但目前往復式引擎仍佔優勢。廣被製造，具有不同的尺寸與轉速，由小而高速的輔助用以及汽車引擎，內徑約為6～10 cm；轉速為4000～5000轉／分鐘到大型慢速，主要用

於船隻的推進用引擎，內徑約 100 cm 轉速為 100 轉 / 分鐘都有。這些數字決非限制性的，只是用來說明而已。可注意到，以上所提的速度範圍是相當廣泛的，掩飾其相當無變化的畫一特性（uniformity）。實際活塞的最大速度對所有往復式引擎而言，都是相同位級的大小。

所有這些引擎有許多共同地方。它們需要高壓縮比以達到自動點火所需的溫度及壓力，以導致汽缸壓力高，需要強韌的機械設計。但高壓縮比也導致高膨脹比，使 diesel 引擎有高指示效率特性。自動點火時，燃料在壓縮過程是要遲一點噴射，以避免先期引燃（pre-ignition）的危險，而且所噴射的燃料必需能在所能獲得的壓力與溫度情況下短時間內點燃。最後，為使燃燒迅速完成，以配合可用的時間，燃料的噴射以及燃料與空氣在燃燒室內的混合必需非常迅速達成。這些均需指出在汽缸內燃料的噴射與空氣運動間的交互作用。此點便控制着燃燒室的設計。

1.2.1 壓縮點火引擎的燃燒室

除以上所提到有關混合的需要外，燃燒還需設計適當，使從燃燒氣體傳向燃燒室壁的熱傳量為最小，而且，還需提供足夠的空間給閥門與燃料噴射裝備。這些不同的要求必需妥為協調。已有大量燃燒室的設計出現，並有許多仍廣被使用。本書目的，不在於說明其複雜性，只是指出其中主要的型式，以及造成它們間的差異的廣泛原理。

所提的解答，雖有可觀重覆部分，但有隨着引擎尺寸與轉速而不同的傾向，同時也受到商場要求的影響。因此，小引擎用在汽車上，其最大功率必需與尺寸有關；所以可允許的過量空氣量（excess air）是很小的，而且引擎的轉速高；使燃料與空氣能迅速混合。在工業或船用目的的引擎，其轉速相當低，且有更多的時間可用來混合；其燃料的消耗要比最大功率更為重要。因此，大量的過量空氣是可接受的。

壓縮燃燒引擎的燃料，是在高壓下經過噴嘴（nozzles）的一個或

數個洞口被噴射，由此產生均細分佈的燃料噴霧，以致個別油滴的燃燒不會拖得太久。大引擎的噴嘴，通常有許多洞口，每個洞口有適度的尺寸，亦即6個洞口者的直徑為0.4 mm，8個洞口的其直徑為

0.5 mm等等。這些決定了每個循環被噴射的燃料量，以及使用的噴射壓力。使用相同原理的小引擎，需要洞口的總面積最小。導致較小的洞口尺寸與較少數目的洞口，造成使用噴霧樣式來均勻分佈燃料在燃燒室中的困難。

這些因素的淨效應，就在小引擎中的空氣運動可確保燃料與空氣的混合完全，當引擎尺寸加大時這就變得不真實。最後導致極少或沒有空氣運動的引擎故意設計成燃燒室，以促進混合。

因而燃燒室在理論上的分類可與燃燒過程中在燃燒室內的空氣速度一致。一個極端的例是，細分燃燒室（subdivided combustion chamber），在燃燒過程本身是用來產生激烈的空氣運動。在正中部位可置放單一燃燒室，或像通常所稱的，直接噴射引擎。其所提供的空氣運動是依進氣方向以及燃燒室的形狀而定，這是另一個極端的例，沒有刻意設計成使空氣運動的直接噴射引擎，稱為靜氣燃燒室（quiescent combustion chamber）引擎。這種過程的進行說明如下。

[1] 細分燃燒室（subdivided combustion chamber）：

預燃室（pre-chamber）：主要是歐洲大陸喜用的，典型的預燃室構造見圖1-1。

預燃室設計的寫法是，使燃燒開始於預燃室中。其中只包含全部空氣的部分，並引起壓力上升，而迫使燃料與空氣猛烈穿過一個通道進入主燃室。通道的截面積很小，以確保高速與有效的分佈。這種通道設計，可將燃料／空氣混合物分配在整個燃燒室中，可能有數個通道或洞口。這種方法可不需許多燃料噴射裝備，就能得到在主燃燒室中空氣與燃料迅速而猛烈的混合。

這些型式的設計以尺寸等因數被稱為是臨界的（critical）。

紊流室（turbulence chamber）：在前面所顯示的設計，就所能

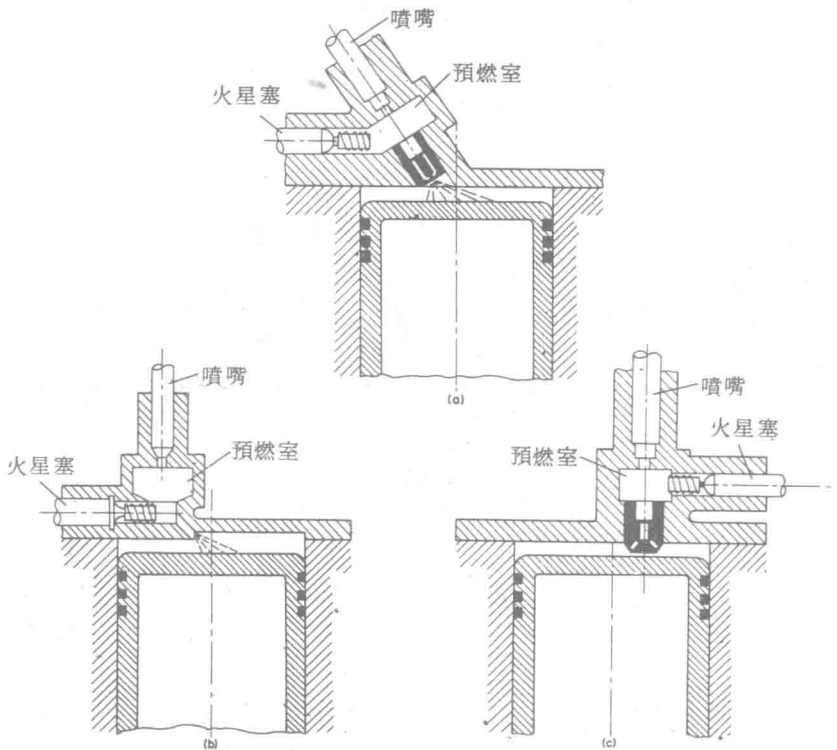


圖 1-1 典型的預室燃燒室

看到的而論，在燃燒前預燃室內的空氣運動是沒有次序的。另一種型式的燃燒室內空氣運動在燃燒之前與燃燒期間，可用來使空氣與燃料混合。Ricardo Comet 型燃燒室設計，是這種型式（見圖 1-2）。

這種燃燒室型式，活塞以切線方向將空氣壓入球狀燃燒室中，以產生漩渦式空氣團（swirl air mass）。燃料形成噴霧狀，在下游進入空氣中（可能沿直徑有微小的初步噴霧）。

點火後，由於燃燒而使壓力上升，強制混合物進入主燃室。此時由於活塞中洞穴的形狀，會造成雙漩渦（double swirl）。在主燃室

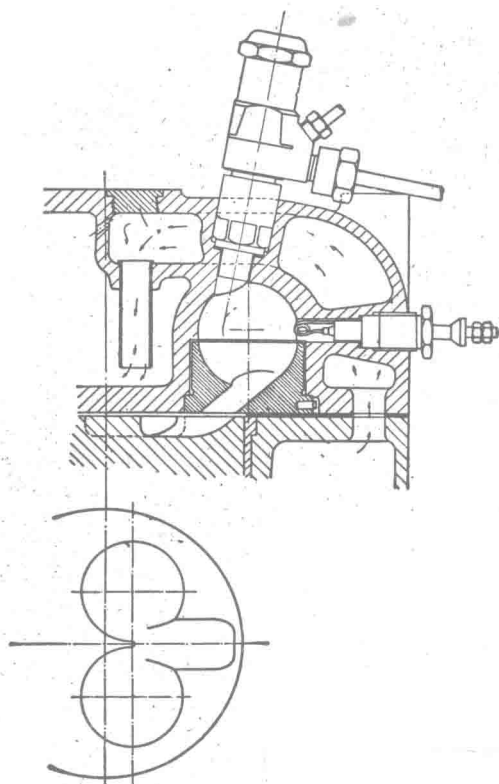


圖 1-2 Ricardo Comet Mark III 型燃燒室

與漩渦室間的狹窄通路（throat）會比預燃室設計的情況為大，使兩室間的壓力差比較適當。漩渦室中的漩渦確保很好的混合，此過程在主燃室中迅速的完成。

漩渦室的體積，約等於主燃室在上死點（top dead center）時的體積（或其他型式，則更大）。

預燃室與紊流室 (turbulence chamber) 的主要差別在於預燃室相當小，而且只有燃料的一小部分在此燃燒，大部分的燃料則在紊流室中燃燒。兩者都使用相當簡單，且不過分要求的噴射裝備。由於空氣的高速運動，能在低過量空氣情況下運轉。

這兩種型式的差別通常並不顯著。

空氣室 (air cell)：另一種型式的隔離燃燒室是，將燃料噴入主燃室，但有第二個燃燒室。從主燃室到第二燃燒室會有空氣與燃料的運動發生。接着會有一些燃燒，以及逆向流，依次在主燃室中引起第二系流，便能有效地完成燃燒。

MAN 空氣室可指出這些行動 (見圖 1-3)。

Lanova 型式 (見圖 1-4) 介於空氣室及預燃室之間，作為從噴嘴進入空氣室的噴霧核心 (core)。燃燒，可能在主燃室中開始，擴展到空氣室中燃料的主要部分，然後空氣 / 燃料被強制回到主室中。

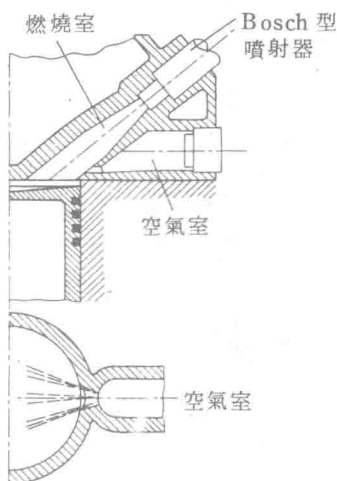


圖 1-3 MAN 型空氣室燃燒室

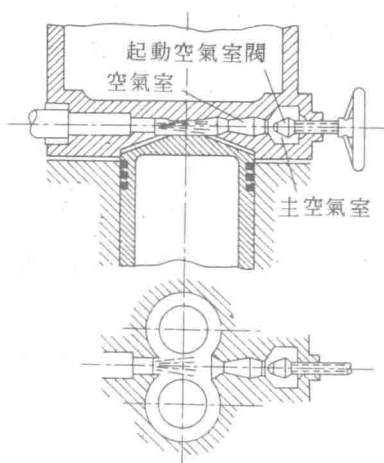


圖 1-4 Lanova 型燃燒室